Le manuel de HAL (Hardware Abstraction Layer)

27 avril 2008

The EMC Team

This handbook is a work in progress. If you are able to help with writing, editing, or graphic preparation please contact any member of the writing team or join and send an email to emc-users@lists.sourceforge.net.

Table des matières

Première partie

Introduction et tutoriel

Chapitre 1

Introduction

1.1 Qu'est-ce que HAL ?

HAL est le sigle de Hardware Abstraction Layer, le terme Anglais pour Couche d'Abstraction Matériel[1]. Au plus haut niveau, il s'agit simplement d'une méthode pour permettre à un grand nombre de "modules" d'être chargés et interconnectés pour assembler un système complexe. La partie "matériel" devient abstraite parce que HAL a été conçu à l'origine pour faciliter la configuration d'EMC pour une large gamme de matériels. Bon nombre de ces modules sont des pilotes de périphériques. Cependant, HAL peut faire beaucoup plus que configurer les pilotes du matériel.

1.1.1 HAL est basé sur le système traditionnel d'étude des projets techniques

HAL est basé sur le même principe que celui utilisé pour l'étude des circuits et des systèmes techniques, il va donc être utile d'examiner d'abord ces principes.

N'importe quel système, y compris les machines CNC, est fait de composants interconnectés. Pour les machines CNC, ces composants pourraient être le contrôleur principal, les amplis de servomoteurs, les amplis ou les commandes de puissance des moteurs pas à pas, les moteurs, les codeurs, les interrupteurs de fin de course, les panneaux de boutons de commande, les manivelles, peut être aussi un variateur de fréquence pour le moteur de broche, un automate programmable pour gérer le changeur d'outils, etc. Le constructeur de machine doit choisir les éléments, les monter et les câbler entre eux pour obtenir un système complet et fonctionnel.

1.1.1.1 Choix des organes

Il ne sera pas nécessaire au constructeur de machine de se soucier du fonctionnement de chacun des organes, il les traitera comme des boîtes noires. Durant la phase de conception, il décide des éléments qu'il va utiliser, par exemple, moteurs pas à pas ou servomoteurs, quelle marque pour les amplis de puissance, quels types d'interrupteurs de fin de course et combien il en faudra, etc. La décision d'intégrer tel ou tel élément spécifique plutôt qu'un autre, repose sur ce que doit faire cet élément et sur ses caractéristiques fournies par le fabricant. La taille des moteurs et la charge qu'ils doivent supporter affectera le choix des interfaces de puissance nécessaires pour les piloter. Le choix de l'ampli affectera le type des signaux de retour demandés ainsi que le type des signaux de vitesse et de position qui doivent lui être transmis.

Dans le monde de HAL, l'intégrateur doit décider quels composants de HAL sont nécessaires. Habituellement, chaque carte d'interface nécessite un pilote. Des composants supplémentaires peuvent être demandés, par exemple, pour la génération logicielle des impulsions d'avance, les fonctionnalités des automates programmables, ainsi qu'une grande variété d'autres tâches.

[1] Note du traducteur : nous garderons le sigle HAL dans toute la documentation.

1.1.1.2 Étude des interconnections

Le créateur d'un système matériel, ne sélectionnera pas seulement les éléments, il devra aussi étudier comment ils doivent être interconnectés. Chaque boîte noire dispose de bornes, deux seulement pour un simple contact, ou plusieurs douzaines pour un pilote de servomoteur ou un automate. Elles doivent être câblées entre elles. Les moteurs câblés à leurs interfaces de puissance, les fins de course câblés au contrôleur et ainsi de suite. Quand le constructeur de machine commence à travailler sur le câblage, il crée un grand plan de câblage représentant tous les éléments de la machine ainsi que les connections qui les relient entre eux.

En utilisant HAL, les *composants* sont interconnectés par des *signaux*. Le concepteur peut décider quels signaux sont nécessaires et à quoi ils doivent être connectés.

1.1.1.3 Implémentation

Une fois que le plan de câblage est complet, il est possible de construire la machine. Les pièces sont achetées et montées, elles peuvent alors être câblées et interconnectées selon le plan de câblage. Dans un système physique, chaque interconnection est un morceau de fil qui doit être coupé et raccordé aux bornes appropriées.

HAL fournit un bon nombre d'outils d'aide à la "construction" d'un système HAL. Certains de ces outils permettent de "connecter" (ou déconnecter) un simple "fil". D'autres permettent d'enregistrer une liste complète des organes, du câblage et d'autres informations à propos du système, de sorte qu'il puisse être "reconstruit" d'une simple commande.

1.1.1.4 Mise au point

Très peu de machines marchent bien dès la première fois. Lors des tests, le technicien peut utiliser un appareil de mesure pour voir si un fin de course fonctionne correctement ou pour mesurer la tension fournie aux servomoteurs. Il peut aussi brancher un oscilloscope pour examiner le réglage d'une interface ou pour rechercher des interférences électriques et déterminer leurs sources. En cas de problème, il peut s'avérer indispensable de modifier le plan de câblage, peut être que certaines pièces devront être recâblées différemment, voir même remplacées par quelque chose de totalement différent.

HAL fournit les équivalents logiciels du voltmètre, de l'oscilloscope, du générateur de signaux et les autres outils nécessaires à la mise au point et aux réglages d'un système. Les même commandes utilisées pour construire le système, seront utilisées pour faire les changements indispensables.

1.1.2 En résumé

Ce document est destiné aux personnes déjà capables de concevoir ce type de réalisation matérielle, mais qui ne savent pas comment connecter le matériel à EMC.

La conception de matériel, telle que décrite précédemment, s'arrête à l'interface de contrôle. Au delà, il y a un tas de boîtes noires, relativement simples, reliées entre elles pour faire ce qui est demandé. À l'intérieur, un grand mystère, c'est juste une grande boîte noire qui fonctionne, nous osons l'espérer.

HAL étend cette méthode traditionnelle de conception de matériel à l'intérieur de la grande boîte noire. Il transforme les pilotes de matériels et même certaines parties internes du matériel, en petites boîtes noires pouvant être interconnectées, elles peuvent alors remplacer le matériel externe. Il permet au "plan de câblage" de faire voir une partie du contrôleur interne et non plus, juste une grosse boîte noire. Plus important encore, il permet à l'intégrateur de tester et de modifier le contrôleur en utilisant les mêmes méthodes que celles utilisées pour le reste du matériel.

Les termes tels que moteurs, amplis et codeurs sont familiers aux intégrateurs de machines. Quand nous parlons d'utiliser un câble extra souple à huit conducteurs blindés pour raccorder un codeur de position à sa carte d'entrées placée dans l'ordinateur. Le lecteur comprend immédiatement de quoi il s'agit et se pose la question, "quel type de connecteurs vais-je devoir monter de chaque côté

de ce câble ?" Le même genre de réflexion est indipensable pour HAL mais le cheminement de la pensée est différent. Au début les mots utilisés par HAL pourront sembler un peu étranges, mais ils sont identiques au concept de travail évoluant d'une connection à la suivante.

HAL repose sur une seule idée, l'idée d'étendre le plan de câblage à l'intérieur du contrôleur. Si vous êtes à l'aise avec l'idée d'interconnecter des boîtes noires matérielles, vous n'aurez sans doute aucune difficulté à utiliser HAL pour interconnecter des boites noires logicielles.

1.2 Concept de HAL

Cette section est un glossaire qui définit les termes clés de HAL mais il est différent d'un glossaire traditionnel en ce sens que les termes ne sont pas classés par ordre alphabétique. Ils sont classés par leur relation ou par le sens du flux à l'intérieur de HAL.

Component : (Composant) Lorsque nous avons parlé de la conception du matériel, nous avons évoqué les différents éléments individuels comme "pièces", "modules", "boîtes noires", etc. L'équivalent HAL est un "component" ou "HAL component". (ce document utilisera : "HAL component" quand la confusion avec un autre type de composant est possible, mais normalement, utilisez juste : "component".) Un HAL component est une pièce logicielle avec, bien définis, des entrées, des sorties, un comportement, qui peuvent éventuellement être interconnectés.

Parameter : (Paramètre) De nombreux composants matériels ont des réglages qui ne sont raccordés à aucun autre composant mais qui sont accessibles. Par exemple, un ampli de servomoteur a souvent des potentiomètres de réglage et des points tests sur lesquels on peut poser une pointe de touche de voltmètre ou une sonde d'oscilloscope pour visualiser le résultat des réglages. Les HAL components aussi peuvent avoir de tels éléments, ils sont appelés "parameters". Il y a deux types de paramètres : "Input parameters" qui sont des équivalents des potentiomètres. Ce sont des valeurs qui peuvent être réglées par l'utilisateur, elles gardent leur valeur jusqu'à un nouveau réglage. "Output parameters" qui ne sont pas ajustables. Ils sont équivalents aux points tests qui permettent de mesurer la valeur d'un signal interne.

Pin : (Broche) Les composants matériels ont des broches qui peuvent être interconnectées entre elles. L'équivalent HAL est une "pin" ou "HAL pin". ("HAL pin" est utilisé quand c'est nécessaire pour éviter la confusion.) Toutes les HAL pins sont nommées et les noms des pins sont utilisés lors des interconnexions entre elles. Les HAL pins sont des entités logicielles qui n'existent qu'à l'intérieur de l'ordinateur.

Physical_Pin : (Broche physique) La plupart des interfaces d'entrées/sorties ont des broches physiques réelles pour leur connection avec l'extérieur, par exemple, les broches du port parallèle. Pour éviter la confusion, elles sont appelées "physical pins". Ce sont des repères pour faire penser au monde physique réel.

Signal : Dans une machine physique réelle, les terminaisons des différents organes sont reliées par des fils. L'équivalent HAL d'un fil est un "signal" ou "HAL signal". Ces signaux connectent les "HAL pins" entre elles comme le requiert le concepteur de la machine. Les "HAL signals" peuvent être connectés et déconnectés à volonté (même avec la machine en marche).

Type : Quand on utilise un matériel réel, il ne viendrait pas à l'idée de connecter la sortie 24V d'un relais à l'entrée analogique +/-10V de l'ampli d'un servomoteur. Les "HAL pins" ont les même restrictions, qui sont fondées sur leur type. Les "pins" et les "signals" ont tous un type, un "signals" ne peux être connecté qu'à une "pins" de même type. Il y a actuellement les 4 types suivants :

- BIT - une simple valeur vraie ou fausse TRUE/FALSE ou ON/OFF
- FLOAT - un flottant de 32 bits, avec approximativement 24 bits de résolution et plus de 200 bits d'échelle dynamique.
- U32 - un entier non signé de 32 bits, les valeurs légales vont de 0 à +4294967295
- S32 - un entier signé de 32 bits, les valeurs légales vont de -2147483648 à +2147483647

Function : (Fonction) Les composants matériels réels ont tendance à réagir immédiatement à leurs signaux d'entrée. Par exemple, si la tension d'entrée d'un ampli de servo varie, la sortie varie aussi automatiquement. Les composants logiciels ne peuvent pas réagir immédiatement.

Chaque composant a du code spécifique qui doit être exécuté pour faire ce que le composant est sensé faire. Dans certains cas, ce code tourne simplement comme une partie du composant. Cependant dans la plupart des cas, notamment dans les composants temps réel, le code doit être exécuté selon un ordre bien précis et à des intervalles trés précis. Par exemple, les données en entrée doivent d'abord être lues avant qu'un calcul ne puisse être effectué sur elles et les données en sortie ne peuvent pas être écrites tant que le calcul sur les données d'entrée n'est pas terminé. Dans ces cas, le code est confié au système sous forme de "functions". Chaque “function” est un bloc de code qui effectue une action spécifique. L'intégrateur peut utiliser des "threads" pour combiner des séries de “functions” qui seront exécutées dans un ordre particulier et selon des intervalles de temps spécifiques.

Thread : (Fil) Un "thread" est une liste de “functions” qui sont lancées à intervalles spécifiques par une tâche temps réel. Quand un “thread” est créé pour la première fois, il a son cadencement spécifique (période), mais pas de “functions”. Les “functions” seront ajoutées au “thread” et elle seront exécutées dans le même ordre, chaque fois que le “tread” tournera.

Prenons un exemple, supposons que nous avons un composant de port parallèle nommé “hal_parport”. Ce composant défini une ou plusieurs “HAL pins” pour chaque “physical pin”. Les “pins” sont décrites dans ce composant, comme expliqué dans la section “component“de cette doc, par : leurs noms, comment chaque “pin” est en relation avec la “physical pin”, est-elle inversée, peut-on changer sa polarité, etc. Mais ça ne permet pas d'obtenir les données des “HAL pins” aux “physical pins”. Le code est utilisé pour faire ça, et c'est la où les “functions” entrent en oeuvre. Le composant parport nécessite deux “functions” : une pour lire les broches d'entrée et mettre à jour les “HAL pins”, l'autre pour prendre les données des “HAL pins” et les écrire sur les broches de sortie “physical pins”. Ce deux fonctions font partie du pilote “hal_parport”.

1.3 Composants HAL

Chaque composant HAL est un morceau de logiciel avec, bien définis, des entrées, des sorties et un comportement. Ils peuvent être installés et interconnectés selon les besoins. Cette section liste certains des composants actuellement disponibles et décrit brièvement ce que chacun fait. Les détails complets sur chacun seront donnés plus loin dans ce document.

1.3.1 Programmes externes attachés à HAL

motion Un module temps réel qui accepte les commandes de mouvement en NML et inter-agit avec HAL

iocontrol Un module d'espace utilisateur qui accepte les commandes d'entrée/sortie (I/O) en NML et inter-agit avec HAL

classicladder Un automate programmable en langage à contacts utilisant HAL pour les entrées/sorties (I/O)

halui Un espace de utilisateur de programmation qui inter-agit avec HAL et envoie des commandes NML, Il est destiné à fonctionner comme une interface utilisateur en utilisant les boutons et interrupteurs externes.

1.3.2 Composants internes

stepgen Générateur d'impulsions de pas avec boucle de position.

encoder Codeur/compteur logiciel.

pid Boucle de contrôle Proportionnelle/Intégrale/Dérivée.

siggen Générateur d'ondes : sinusoïdale/cosinusoïdale/triangle/carrée, pour la mise au point.

supply Une simple alimentation, pour la mise au point

blocks Un assortiment de composants (mux, demux, or, and, integ, ddt, limit, wcomp, etc.)

1.3.3 Pilotes de matériels

hal_ax5214h Un pilote pour la carte d'entrées/sorties Axiom Measurement & Control AX5241H

hal_m5i20 Un pilote pour la carte Mesa Electronics 5i20

hal_motenc Un pilote pour la carte Vital Systems MOTENC-100

hal_parport Pilote pour le(ou les) port(s) parallèle(s).

hal_ppmc Un pilote pour la famille de contrôleurs Pico Systems (PPMC, USC et UPC)

hal_stg Un pilote pour la carte Servo To Go (versions 1 & 2)

hal_vti Un pilote pour le contrôleur Vigilant Technologies PCI ENCDAC-4

1.3.4 Outils-Utilitaires

halcmd Ligne de commande pour la configuration et les réglages.

halgui Outil graphique pour la configuration et les réglages. (pas encore implémenté).

halmeter Un multimètre pour les signaux HAL.

halscope Un oscilloscope digital à mémoire, complétement fonctionnel pour les signaux HAL.

Chacun de ces modules est décrit en détail dans les chapitres suivants.

1.4 Tinkertoys, Erector Sets, Legos et le HAL

Cette première introduction au concept de HAL peut être un peu déconcertante pour l'esprit. Construire quelque chose avec des blocs peut être un défi, pourtant certains jeux de construction avec lesquels nous avons joué étant enfants peuvent nous aider à construire un système HAL.

1.4.1 Une tour

> Je regardais mon fils et sa petite fille de six ans construire une tour à partir d'une boîte pleine de blocs de différentes tailles, de barres et de pièces rondes, des sortes de couvercles. L'objectif était de voir jusqu'où la tour pouvait monter. Plus la base était étroite plus il restait de pièces pour monter. Mais plus la base était étroite, moins la tour était stable. Je les voyais étudier combien de blocs ils pouvaient poser et où ils devaient les poser pour conserver l'équilibre avec le reste de la tour.

La notion d'empilage de cartes pour voir jusqu'où on peut monter est une très vieille et honorable manière de passer le temps. En première lecture, l'intégrateur pourra avoir l'impression que construire un HAL est un peu comme ça. C'est possible avec une bonne planification, mais l'intégrateur peut avoir à construire un système stable aussi complexe qu'une machine actuelle l'exige.

1.4.2 Erector Sets[2] (Meccano en France)

C'était une grande série de boites de construction en métal, des tôles perforées, plates ou en cornières, toutes avaient des trous régulierements espacés. Vous pouviez concevoir des tas de choses et les monter avec ces éléments maintenus entre eux par des petits boulons.

> J'ai eu ma première boîte Erector pour mon quatrième anniversaire. Je sais que la boîte était prévue pour des enfants beaucoup plus agés que moi. Peut être que mon père se faisait vraiment un cadeau à lui même. J'ai eu une période difficile avec les petites vis et les petits écrous. J'ai vraiment eu envie d'avoir quatre bras, un pour visser avec le tournevis, un pour tenir la vis, les pièces et l'écrou. En persévérant, de même qu'en agaçant mon père, j'ai fini par avoir fait tous les montages du livret. Bientôt, je lorgnais

[2] Le jeu Erector Set est une invention de AC Gilbert

> vers les plus grandes boîtes qui étaient imprimées sur ce livret. Travailler avec ces pièces de taille standard m'a ouvert le monde de la construction et j'ai bientôt été au delà des projets illustrés.

Les composants Hal ne sont pas tous de même taille ni de même forme mais ils permettent d'être regroupés en larges unités qui feront bien du travail. C'est dans ce sens qu'ils sont comme les pièces d'un jeu Erector. Certains composants sont longs et minces. Ils connectent essentiellement les commandes de niveau supérieur aux "physical pins". D'autres composants sont plus comme les plateformes rectangulaires sur lesquelles des machines entières pourraient être construites. Un intégrateur parviendra rapidement au delà des brefs exemples et commencera à assembler des composants entre eux d'une manière qui lui sera propre.

1.4.3 Tinkertoys[3]

> Le jouet en bois Tinkertoys est plus humain que l'acier froid de l'Erector. Le coeur de la construction avec TinkerToys est un connecteur rond avec huit trous équidistants sur la circonférence. Il a aussi un trou au centre, perpendiculaire aux autres trous répartis autour du moyeu.
>
> Les moyeux pouvaient être connectés avec des tiges rondes de différentes longueurs. Le constructeur pouvait faire une grosse roue à l'aide de rayons qui partaient du centre.
>
> Mon projet favori était une station spaciale rotative. De courtes tiges rayonnaient depuis les trous du moyeu central et étaient connectées avec d'autres moyeux aux extrémités des rayons. Ces moyeux extérieurs étaient raccordés entre eux avec d'autres rayons. Je passais des heures à rêver de vivre dans un tel dispositif, marchant de moyeu en moyeu et sur la passerelle extérieure qui tournait lentement à cause de la gravité dans l'espace en état d'apesanteur. Les provisions circulaient par les rayons et les ascenceurs qui les transféraient dans la fusée arrimée sur le rayon central pendant qu'on déchargeait sa précieuse cargaison.

L'idée qu'une "pin" ou qu'un "component" est la plaque centrale pour de nombreuses connections est aussi une notion facile avec le HAL. Les exemples deux à quatre (voir section 2) connectent le multimètre et l'oscilloscope aux signaux qui sont prévus pour aller ailleurs. Moins facile, la notion d'un moyeu pour plusieurs signaux entrants. Mais, c'est également possible avec l'utilisation appropriée des fonctions dans ce composant de moyeu qui manipulent les signaux quand ils arrivent, venant d'autres composants.

Une autre réflexion qui vient à partir de ce jouet mécanique est une représentation de "HAL threads". Un "thread" pourrait ressembler un peu à un chilopode, une chenille, ou un perce-oreille. Une épine dorsale, des "HAL components", raccordés entre eux par des tiges, les "HAL signals". Chaque composant prend dans ses propres paramètres et selon l'état de ses broches d'entrée, les passe sur ses broches de sortie à l'intention du composant suivant. Les signaux voyagent ainsi de bout en bout, le long de l'épine dorsale où ils sont ajoutés ou modifiés par chaque composant son tour venu.

Les "Threads" sont tous synchronisés et exécutent une série de tâches de bout en bout. Une représentation mécanique est possible avec Thinkertoys si on pense à la longueur du jouet comme étant la mesure du temps mis pour aller d'un bout à l'autre. Un thread, ou épine dorsale, très différent est créé en connectant le même ensemble de modules avec des tiges de longueur différente. La longueur totale de l'épine dorsale peut aussi être changée en jouant sur la longueur des tiges pour connecter les modules. L'ordre des opérations est le même mais le temps mis pour aller d'un bout à l'autre est très différent.

1.4.4 Un exemple en Lego[4]

Lorsque les blocs de Lego sont arrivés dans nos magasins, ils étaient à peu près tous de la même taille et de la même forme. Bien sûr il y avait les demi taille et quelques uns en quart de taille mais

[3] Tinkertoy est maintenant registered trademark of the Hasbro company.
[4] The Lego name is a trademark of the Lego company.

tous rectangulaires. Les blocs de Lego se relient ensembles en enfonçant les broches mâles d'une pièce dans les trous femelles de l'autre. En superposant les couches, les jonctions peuvent être rendues très solides, même aux coins et aux tés.

> J'ai vu mes enfants et mes petits-enfants construire avec des pièces Lego (les mêmes Lego). Il y en a encore quelques milliers dans une vieille et lourde boîte en carton qui dort dans un coin de la salle de jeux. Ils sont stockés dans cette boîte car c'était trop long de les ranger et de les ressortir à chacune de leur visite et ils étaient utilisés à chaque fois. Il doit bien y avoir les pièces de deux douzaines de boîtes différentes de Lego. Les petits livrets qui les accompagnaient ont été perdus depuis longtemps, mais la magie de la construction avec l'imbrication de ces pièces toutes de la même taille est quelque chose à observer.

1.5 Problèmes de timming dans HAL

Contrairement aux modèles physiques du câblage entre les boîtes noires sur lequel, nous l'avons dit, HAL est basé, il suffit de relier deux broches avec un signal hal, on est loin de l'action physique.

La vraie logique à relais consiste en relais connectés ensembles, quand un relais s'ouvre ou se ferme, le courant passe (ou s'arrête) immédiatement. D'autres bobines peuvent changer d'état etc. Dans le style langage à contacts d'automate comme le Ladder ça ne marche pas de cette façon. Habituellement dans un Ladder simple passe, chaque barreau de l'échelle est évalué dans l'ordre où il se présente et seulement une fois par passe. Un exemple parfait est un simple Ladder avec un contact en série avec une bobine. Le contact et la bobine actionnent le même relais.

Si c'était un relais conventionnel, dès que la bobine est sous tension, le contact s'ouvre et coupe la bobine, le relais retombe etc. Le relais devient un buzzer.

Avec un automate programmable, si la bobine est OFF et que le contact est fermé quand l'automate commence à évaluer le programme, alors à la fin de la passe, la bobine sera ON. Le fait que la bobine ouvre le contact qui la prive de courant est ignoré jusqu'à la prochaine passe. À la passe suivante, l'automate voit que le contact est ouvert et désactive la bobine. Donc, le relais va battre rapidement entre on et off à la vitesse à laquelle l'automate évalue le programme.

Dans HAL, c'est le code qui évalue. En fait, la version Ladder HAL temps réel de ClassicLadder exporte une fonction pour faire exactement cela. Pendant ce temps, un thread exécute les fonctions spécifiques à intervalle régulier. Juste comme on peut choisir de régler la durée de la boucle de programme d'un automate programmable à 10ms, ou à 1 seconde, on peut définir des "HAL threads" avec des périodes différentes.

Ce qui distingue un thread d'un autre n'est pas ce qu'il fait mais quelles fonctions lui sont attachées. La vraie distinction est simplement combien de fois un thread tourne.

Dans EMC on peut avoir un thread à 50μs et un thread à 1ms. En se basant sur les valeurs de BASE_PERIOD et de SERVO_PERIOD. Valeurs fixées dans le fichier ini.

La prochaine étape consiste à décider de ce que chaque thread doit faire. Certaines de ces décisions sont les mêmes dans (presque) tous les systèmes emc. Par exemple, le gestionnaire de mouvement est toujours ajouté au servo-thread.

D'autres connections seront faites par l'intégrateur. Il pourrait s'agir de brancher la lecture d'un codeur par une carte STG à un DAC pour écrire les valeurs dans le servo thread, ou de brancher une fonction stepgen au base-thread avec la fonction parport pour écrire les valeurs sur le port.

Chapitre 2

Tutoriel de HAL

2.1 Introduction

La configuration passe de la théorie à la pratique de HAL. Pour ceux qui ont juste un peu de pratique avec la programmation des ordinateurs, cette section est le “Hello World” de HAL. Comme indiqué précédemment halrun peut être utilisé pour créer un système qui fonctionne. Il s'agit d'un outil de configuration et de mise au point en ligne de commande ou en fichier texte. Les exemples suivants illustrent son installation et son fonctionnement.

2.1.1 Notation

Les exemples en ligne de commande sont représentés en police **`bold typewriter`**. Les réponses de l'ordinateur sont en police `typewriter`. Le texte optionnel est entre crochets `[comme ça]`. Le texte `<comme ça>` représente un champ qui peut prendre différentes valeurs, le paragraphe adjacent explique quelles sont les valeurs appropriées. Les élements textuels séparés par des barres verticales indiquent qu'une valeur ou l'autre mais pas les deux, doit être présente. Toutes les lignes de commandes considèrent que vous êtes dans le répertoire `emc2/` , les chemins sont affichés en accord avec ce principe.

2.1.2 L'environnement RTAPI

RTAPI est le sigle de Real Time Application Programming Interface. De nombreux composants HAL travaillent en temps réel et tous les composants de HAL stockent leurs données dans la mémoire partagée, de sorte que les composants temps réel puissent y accéder. Normalement, Linux ne prend pas en charge les programmes temps réel ni le type de mémoire partagée dont HAL a besoin. Heureusement, il existe des systèmes d'exploitation temps réel RTOS qui fournissent les extensions nécessaires à Linux. Malheureusement, chaque RTOS fait les choses différemment des autres.

Pour remédier à ces différences, l'équipe d'EMC a proposé RTAPI, qui fournit une manière cohérente aux programmes de parler au RTOS. Si vous êtes un programmeur qui veut travailler à l'intérieur d'EMC, vous pouvez étudier `emc2/src/rtapi/rtapi.h` pour comprendre l'API. Mais si vous êtes une personne normale, tout ce que vous avez besoin de savoir à propos de RTAPI est qu'il doit être (avec le RTOS) chargé dans la mémoire de votre ordinateur avant de pouvoir faire n'importe quoi avec HAL.

Pour ce tutoriel, nous allons supposer que vous avez compilé avec succès l'arborescence emc2/src et, si nécessaire, invoqué le script `emc-environment` pour préparer votre shell. Dans ce cas, tout ce que vous avez à faire est de charger le RTOS requis et les modules RTAPI dans la mémoire. Tapez juste les commandes suivantes dans une console :

```
emc2$ halrun
halcmd :
```

Une fois l'OS temps réel et RTAPI chargés, vous pouvez aller au premier exemple. Notez que le prompt a changé, il est passé de "$" à "halcmd". La raison en est que les commandes ultérieures seront interprétées comme des commandes HAL et non plus comme des commandes shell. `halrun` est un simple script shell, il est plus ou moins équivalent de lancer :

```
emc2$ realtime start
emc2$ halcmd -kf
```

Pour quitter `halcmd` et que halrun arrête le système temps réel, tapez :

```
emc2$ realtime stop
```

Vous pouvez également passer des arguments à halrun, il seront répercutés sur halcmd, ou passer le nom d'un fichier .hal. Parce que `halrun` arrête le système temps réel quand il se termine, le fichier hal fonctionnera de cette façon et s'arrêtera généralement avec une commande comme : `loadrt -w halscope`.

2.2 Tab-complétion

Votre version de halcmd peut inclure la complétion avec la touche tab. Au lieu de compléter les noms de fichiers comme le fait un shell, il complète les commandes avec les identifiants HAL. Essayez de presser la touche tab après le début d'une commande HAL :

```
halcmd : lo<TAB>
loadrt    loadusr   lock
halcmd : loadrt d<TAB>
ddt       debounce
```

2.3 Un exemple simple

2.3.1 Chargement d'un composant temps réel

Pour le premier exemple, nous allons utiliser un composant HAL appelé `siggen`, qui est un simple générateur de signal. Une description complète du composant `siggen` reste disponible à la section 7.7 de ce document. Il s'agit d'un composant en temps réel, mis en oeuvre comme un module du noyau Linux. Pour charger `siggen` utiliser la commande `halcmd loadrt` :

```
halcmd : loadrt siggen
```

2.3.2 Examiner HAL

Maintenant que le module est chargé, il faut introduire `halcmd`, l'outil en ligne de commande utilisé pour configurer le HAL. Pour une description plus complète essayez : `man halcmd`, ou consultez la section `halcmd` à la section 5.1 de ce document. La première commande de halcmd et show, qui affichera les informations concernant l'état actuel du HAL. Pour afficher tout ce qui est installé tapez :

```
halcmd : show comp
Loaded HAL Components :
ID      Type  Name                                      PID   State
32769   RT    siggen                                          ready
9775    User  halcmd9775                                 9775 initializing
```

Puisque `halcmd` lui même est un composant HAL, il sera toujours présent dans la liste[1]. La liste montre aussi le composant `siggen` que nous avions installé à l'étape précédente. Le "RT" sous "Type" indique que `siggen` est un composant temps réel.

Ensuite, voyons quelles pins `siggen` rend disponibles :

```
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner   Type  Dir    Value      Name 02    float -W   0.00000e+00  siggen.0.cosine
32769  float OUT  0.00000e+00  siggen.0.sawtooth
32769  float OUT  0.00000e+00  siggen.0.sine
32769  float OUT  0.00000e+00  siggen.0.square
32769  float OUT  0.00000e+00  siggen.0.triangle
```

Cette commande affiche toutes les pins dans le HAL. Un système complexe peut avoir plusieurs dizaines ou centaines de pins. Mais pour le moment il y a seulement cinq pins. Toutes ces cinq pins sont des flottants, elles transportent toutes des données en provenance du composant `siggen`. Puisque nous n'avons pas encore exécuté le code contenu dans le composant, toutes les pins ont une valeur de zéro.

L'étape suivante consiste à examiner les paramètres :

```
halcmd : show param
Parameters :
Owner     Type  Dir    Value      Name
 32769    float  RW   1.00000e+00  siggen.0.amplitude
 32769    float  RW   1.00000e+00  siggen.0.frequency
 32769    float  RW   0.00000e+00  siggen.0.offset
 32769    s32    RO            0   siggen.0.update.time
 32769    s32    RW            0   siggen.0.update.tmax
```

La commande "show param" affiche tous les paramètres de HAL. Pour le moment chaque paramètre à la valeur par défaut attribuée quand le composant a été chargé. Notez dans la colonne `Dir`. Les valeurs marquées `-W` écriture possible, pour ceux qui ne sont jamais modifié par le composant lui-même, mais qui sont modifiable par l'utilisateur pour contrôler le composant. Nous verrons comment plus tard. Les paramètres marqués `R-` sont en lecture seule. Il ne peuvent être modifiés que par le composant. Finalement, les paramètres marqués `RW` sont en lecture/écriture. Ils peuvent être modifiés par le composant et aussi par l'utilisateur. Nota : les paramètres `siggen.0.update.time` et `siggen.0.update.tmax` existent dans un but de déboguage, ils ne sont pas couverts par cette documentation.

La plupart des composants temps réel exportent une ou plusieurs fonctions pour que le code qu'elles contiennent soit exécuté en temps réel. Voyons ce que la fonction `siggen` exporte :

```
halcmd : show funct
Exported Functions :
Owner    CodeAddr   Arg    FP   Users  Name
 32769   b7f74ac5 b7d0c0b4 YES    0   siggen.0.update
```

Le composant siggen exporte une seule fonction. Il nécessite un flottant (Floating Point). Il n'est lié à aucun thread, puisque "users" est à zero[2].

2.3.3 Exécuter le code temps réel

Pour faire tourner le code actuellement contenu dans la fonction `siggen.0.update`, nous avons besoin d'un thread temps réel. C'est le composant appelé `threads` qui est utilisé pour créer le nouveau thread. Créons un thread appelé `test-thread` avec une période de 1ms (1000000ns) :

[1] Le nombre après halcmd dans la liste des composants est le "process ID". Il est toujours possible de lancer plus d'une instance de halcmd en même temps (dans différentes fenêtres par exemple), Le numéro PID est ajouté à la fin du nom pour rendre celui-ci unique.

[2] Les champs codeaddr et arg ont été utilisés pendant le développement et devraient probablement disparaître.

```
halcmd : loadrt threads name1=test-thread period1=1000000
```

Voyons si il fonctionne :

```
halcmd : show thread
Realtime Threads :
   Period   FP   Name    (Time, Max-Time)
     999849 YES  test-thread    ( 0, 0 )
```

Il fonctionne. La période n'est pas exactement de 1000000ns à cause des limitations dues au matériel, mais nous avons bien un thread qui tourne à une période approximativement correcte et qui peut manipuler des fonctions en virgule flottante. La prochaine étape sera de connecter la fonction au thread :

```
halcmd : addf siggen.0.update test-thread
```

Pour le moment nous avions utilisé `halcmd` seulement pour regarder le HAL. Mais cette fois-ci, nous avons utilisé la commande `addf` (add function) pour changer quelque chose dans le HAL. Nous avons dit à `halcmd` d'ajouter la fonction `siggen.0.update` au thread `test-thread` et la commande suivante indique qu'il a réussi :

```
halcmd : show thread
Realtime Threads :
   Period   FP   Name    (Time, Max-Time)
     999849 YES  test-thread    ( 0, 0 )
                 1 siggen.0.update
```

Il y a une étape de plus avant que le composant `siggen` ne commence à générer des signaux. Quand le HAL est démarré pour la première fois, les threads ne sont pas en marche. C'est pour vous permettre de compléter la configuration du système avant que le code temps réel ne démarre. Une fois que vous êtes satisfait de la configuration, vous pouvez lancer le code temps réel comme ceci :

```
halcmd : start
```

Maintenant le générateur de signal est en marche. Regardons ses pins de sortie :

```
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner  Type  Dir     Value      Name
 32769    float OUT   2.12177e-01  siggen.0.cosine
 32769    float OUT  -5.64055e-01  siggen.0.sawtooth
 32769    float OUT   9.79820e-01  siggen.0.sine
 32769    float OUT  -1.00000e+00  siggen.0.square
 32769    float OUT   1.28110e-01  siggen.0.triangle
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner  Type  Dir     Value      Name
 32769    float OUT   5.19530e-01  siggen.0.cosine
 32769    float OUT   6.73893e-01  siggen.0.sawtooth
 32769    float OUT  -8.54452e-01  siggen.0.sine
 32769    float OUT   1.00000e+00  siggen.0.square
 32769    float OUT   3.47785e-01  siggen.0.triangle
```

Nous avons fait, très rapidement, deux commandes `show pin` et vous pouvez voir que les sorties ne sont plus à zéro. Les sorties sinus, cosinus, dents de scie et triangle changent constamment. La sortie carrée fonctionne également, mais elle passe simplement de +1.0 à -1.0 à chaque cycle.

2.3.4 Modifier des paramètres

La réelle puissance de HAL est de permettre de modifier les choses. Par exemple, on peut utiliser la commande `setp` pour ajuster la valeur d'un paramètre. Modifions l'amplitude du signal de sortie du générateur de 1.0 à 5.0 :

```
halcmd : setp siggen.0.amplitude 5
emc2$
```

Voyons encore une fois les paramètres et les pins :

```
halcmd : setp siggen.0.amplitude 5
halcmd : show param
Parameters :
Owner  Type  Dir    Value      Name
 32769    float  RW   5.00000e+00  siggen.0.amplitude
 32769    float  RW   1.00000e+00  siggen.0.frequency
 32769    float  RW   0.00000e+00  siggen.0.offset
 32769    s32    RO          397   siggen.0.update.time
 32769    s32    RW       109100   siggen.0.update.tmax
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner  Type  Dir     Value      Name
 32769    float OUT   4.78453e+00  siggen.0.cosine
 32769    float OUT  -4.53106e+00  siggen.0.sawtooth
 32769    float OUT   1.45198e+00  siggen.0.sine
 32769    float OUT  -5.00000e+00  siggen.0.square
 32769    float OUT   4.02213e+00  siggen.0.triangle
```

Notez que la valeur du paramètre `siggen.0.amplitude` est bien passée à 5.000 et que les pins ont maintenant des valeurs plus grandes.

2.3.5 Enregistrer la configuration de HAL

La plupart de ce que nous avons fait jusqu'ici avec `halcmd` a été de simplement regarder les choses avec la commande `show`. Toutefois, deux commandes ont réellement modifié des valeurs. Au fur et à mesure que nous concevons des systèmes plus complexes avec HAL, nous allons utiliser de nombreuses commandes pour le configurer comme nous le souhaitons. HAL a une mémoire d'éléphant et peut retenir sa configuration jusqu'à ce qu'il s'arrête. Mais qu'en est-il de la prochaine fois ? Nous ne voulons pas entrer une série de commande à chaque fois que l'on veut utiliser le système. Nous pouvons enregistrer la configuration de l'ensemble de HAL en une seule commande :

```
halcmd : save
# components
loadrt threads name1=test-thread period1=1000000
loadrt siggen
# signals
# links
# parameter values
setp siggen.0.amplitude  5.00000e+00
setp siggen.0.frequency  1.00000e+00
setp siggen.0.offset  0.00000e+00
# realtime thread/function links
addf siggen.0.update test-thread
```

La sortie de la commande `save` est une séquence de commandes HAL. Si vous commencez par un HAL "vide" et que vous tapez toute la séquence de commandes HAL, vous aurez la configuration qui existait lors de l'exécution de la commande `save`. Pour sauver ces commandes pour une utilisation ultérieure, nous allons simplement rediriger la sortie vers un fichier :

```
halcmd : save all saved.hal
```

2.3.6 Restaurer la configuration de HAL

Pour restaurer la configuration de HAL stockée dans `saved.hal`, nous avons besoin d'exécuter toutes ces commandes HAL. Pour ce faire, nous utiliserons la commande `-f <filename>` qui lit les commandes à partir d'un fichier, le `-I` qui affichera le prompt halcmd après l'exécution des commandes :

```
emc2$ halrun -I -f saved.hal
```

Notez qu'il n'y a pas de commande 'start' dans le fichier saved.hal. Il est nécessaire de la retaper (ou d'éditer saved.hal pour l'ajouter) :

```
halcmd : start
```

2.4 Visualiser le HAL avec halmeter

Vous pouvez construire des systèmes HAL vraiment complexes sans utiliser d'interface graphique. Mais il y a quelque chose de rassurant à visualiser le résultat du travail. Le premier, et le plus simple des outils graphiques pour le HAL, est "halmeter". C'est un programme très simple qui s'utilise comme un multimètre.

Nous allons utiliser de nouveaux éléments du composant siggen pour vérifier halmeter. Si vous avez fini l'exemple précédent, alors siggen est déjà chargé. Sinon, on peut charger tout comme nous l'avons fait précédemment :

```
emc2$ halrun
halcmd : loadrt siggen
halcmd : loadrt threads name1=test-thread period1=1000000
halcmd : addf siggen.0.update test-thread
halcmd : start
halcmd : setp siggen.0.amplitude 5
```

2.4.1 Lancement de halmeter

À ce stade, nous avons chargé le composant siggen qui est en cours d'exécution. Nous pouvons lancer halmeter. Puisque halmeter est une application graphique, X doit être actif.

```
halcmd : loadusr halmeter
```

Dans le même temps, une fenêtre s'ouvre sur votre écran, ressemblant à la figure 2.1.

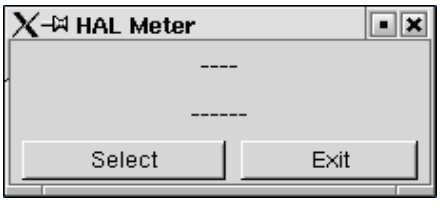


FIG. 2.1 – Lancement de Halmeter, rien n'est sélectionné

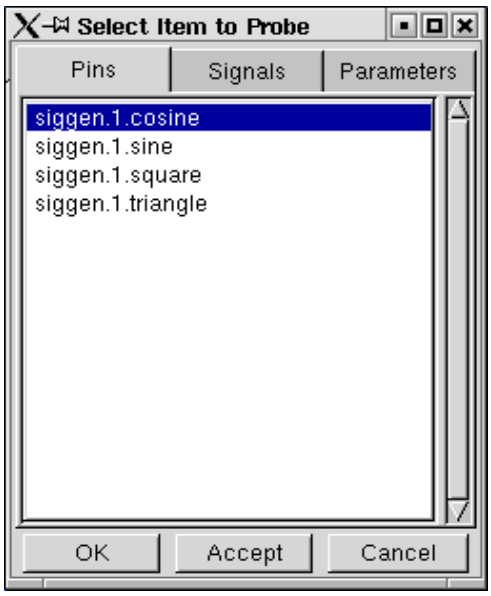


FIG. 2.2 – Dialogue de sélection de Halmeter

2.4.2 Utilisation de halmeter

La fenêtre de la figure 2.1 n'est pas d'une grande utilité, parce qu'elle n'affiche rien. Pour afficher des valeurs, cliquez sur le bouton 'Select', le dialogue de sélection des éléments à mesurer (figure 2.2).

Ce dialogue contient trois onglets. Le premier onglet affiche toutes les HAL pins du système. La seconde affiche tous les signaux et le troisième affiche tous les paramètres. Si nous voulons analyser la pin `siggen.0.triangle`, il suffit de cliquer sur elle puis sur le bouton 'OK'. Le dialogue de sélection se ferme et la mesure s'affiche, quelque chose comme sur la figure 2.3.

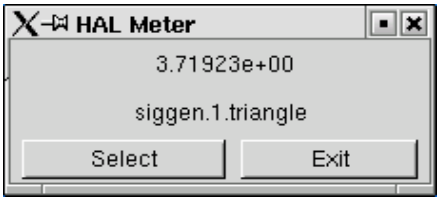


FIG. 2.3 – Affichage dans Halmeter de la valeur d'une pin

Vous devriez voir la valeur évoluer à mesure que siggen génère son signal triangulaire. Halmeter est raffraîchi environ 5 fois par seconde.

Si vous voulez visualiser rapidement des pins successives, vous pouvez cliquer le bouton 'Accept' du dialogue de sélection. Cliquez 'Select' pour ouvrir le dialoque une nouvelle fois. Mais cette fois, cliquez une autre pin, comme siggen.0.cosine, puis cliquez 'Accept'. La nouvelle valeur s'affiche alors immédiatement, mais le dialogue de sélection reste ouvert. Essayez d'afficher un paramètre au lieu d'une pin. Cliquez sur l'onglet 'Parameters', puis sélectionnez un paramètre et cliquez encore sur 'Accept'. Vous pouvez ainsi afficher très rapidement la valeur d'un élément puis d'un autre en quelques clics.

Pour arrêter halmeter, cliquez simplement sur le bouton "quitter".

Si vous voulez regarder plus d'une pin, plus d'un signal, ou plusieurs paramètres à la fois, il vous suffit de lancer plusieurs instances de halmeters. La fenêtre de halmeter a été conçue petite, pour permettre d'en avoir beaucoup à la fois sur l'écran. [3]

[3]Halmeter sera réécrit. Cette réécriture le rendra plus agréable à utiliser. La notation scientifique sera éliminée, elle est

trop difficile à lire. Certaines formes d'échelles seront ajoutées (y compris, une échelle automatique) pour afficher des échelles plus grandes sans notation scientifique. Un affichage par "bargraph analogique" sera également ajouté pour donner une idée des évolutions rapides. Quand cette réécriture sera terminée, ces captures d'écran et les textes les accompagnant seront révisés pour refléter la nouvelle version.

2.5 Un exemple un peu plus complexe.

Jusqu'à maintenant, nous avons chargé un composant HAL. Mais l'idée générale de HAL est de vous permettre de charger et de relier un grand nombre de composants pour en faire un système complexe. Le prochain exemple va utiliser deux composants.

Avant de mettre en place ce nouvel exemple, nous allons commencer par un petit nettoyage. Si vous avez fini l'un des exemples précédents, il faut supprimer tous les composants et ensuite recharger la RTAPI et les librairies de HAL en faisant :

```
halcmd : exit
emc2$ halrun
```

2.5.1 Installation des composants

Maintenant, nous allons charger le composant générateur d'impulsions. Pour l'instant, nous pouvons nous passer des détails et exécuter les commandes suivantes :[4]

```
halrun : loadrt freqgen step_type=0,0
halcmd : loadrt siggen
halcmd : loadrt threads name1=fast fp1=0 period1=50000 name2=slow period2=1000000
```

La première commande charge deux générateurs d'impulsions, configurés pour générer des impulsions de type 0. La seconde commande charge notre vieil ami siggen et la troisième crée deux threads, un rapide (fast) avec une période de 50µs et un lent avec une période de 1ms. Le thread rapide ne prend pas en charge les fonctions à virgule flottante (fp1=0).

Comme précédemment, on peut utiliser `halcmd show` pour jeter un coup d'oeil au HAL. Cette fois, nous aurons beaucoup plus de pins et de paramètres que précédemment :

```
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner  Type  Dir    Value      Name
 03    float -W   0.00000e+00  siggen.0.cosine
 03    float -W   0.00000e+00  siggen.0.sawtooth
 03    float -W   0.00000e+00  siggen.0.sine
 03    float -W   0.00000e+00  siggen.0.square
 03    float -W   0.00000e+00  siggen.0.triangle
 02    s32   -W            0   freqgen.0.counts
 02    bit   -W     FALSE      freqgen.0.dir
 02    float -W   0.00000e+00  freqgen.0.position
 02    bit   -W     FALSE      freqgen.0.step
 02    float R-   0.00000e+00  freqgen.0.velocity
 02    s32   -W            0   freqgen.1.counts
 02    bit   -W     FALSE      freqgen.1.dir
 02    float -W   0.00000e+00  freqgen.1.position
 02    bit   -W     FALSE      freqgen.1.step
 02    float R-   0.00000e+00  freqgen.1.velocity
halcmd : show param
Parameters :
Owner  Type  Dir    Value      Name
 03    float  -W   1.00000e+00  siggen.0.amplitude
 03    float  -W   1.00000e+00  siggen.0.frequency
 03    float  -W   0.00000e+00  siggen.0.offset
 02    u32    -W     000000001  freqgen.0.dirhold
```

[4] Le signe "\" à la fin d'une longue ligne indique que la ligne est tronquée (c'est nécessaire pour formater ce document). Quand vous entrez la commande en ligne dans la console, sautez simplement le "\" (ne pressez pas Entrée) et continuez à taper la ligne suivante.

```
02    u32    -W     000000001  freqgen.0.dirsetup
02    float  R-   0.00000e+00  freqgen.0.frequency
02    float  -W   0.00000e+00  freqgen.0.maxaccel
02    float  -W   1.00000e+15  freqgen.0.maxfreq
02    float  -W   1.00000e+00  freqgen.0.position-scale
02    s32    R-            0   freqgen.0.rawcounts
02    u32    -W     000000001  freqgen.0.steplen
02    u32    -W     000000001  freqgen.0.stepspace
02    float  -W   1.00000e+00  freqgen.0.velocity-scale
02    u32    -W     000000001  freqgen.1.dirhold
02    u32    -W     000000001  freqgen.1.dirsetup
02    float  R-   0.00000e+00  freqgen.1.frequency
02    float  -W   0.00000e+00  freqgen.1.maxaccel
02    float  -W   1.00000e+15  freqgen.1.maxfreq
02    float  -W   1.00000e+00  freqgen.1.position-scale
02    s32    R-            0   freqgen.1.rawcounts
02    u32    -W     000000001  freqgen.1.steplen
02    u32    -W     000000001  freqgen.1.stepspace
02    float  -W   1.00000e+00  freqgen.1.velocity-scale
```

2.5.2 Connecter les pins avec des signaux

Nous avons donc deux générateurs d'impulsions carrées et un générateur de signaux. Maintenant, nous allons créer des signaux HAL pour connecter ces trois composants. Nous allons faire comme si nous pilotions les axes X et Y d'une machine avec nos générateurs d'impulsions. Nous voulons déplacer la table en ronds. Pour ce faire, nous allons envoyer un signal cosinusoïdal à l'axe des X et un signal sinusoïdal à l'axe des Y. Le module siggen créera le sinus et le cosinus, mais nous aurons besoin de "fils" pour connecter les modules ensemble. Dans le HAL, les "fils" sont appelés signaux. Nous devons en créer deux. Nous pouvons les appeler comme on veut, pour cet exemple il y aura `X_vel` et `Y_vel`. Le signal `X_vel` partira de la sortie cosinus du générateur de signal et arrivera sur l'entrée "velocity" du premier générateur d'impulsions. La première étape consiste à connecter le signal à la sortie du générateur de signaux. Pour connecter un signal à une pin, nous utilisons la commande `net` :

```
halcmd : net X_vel <= siggen.0.cosine
```

Pour voir l'effet de la commande `net`, regardons les signaux :

```
halcmd : show sig
ignals :
Type      Value      Name
float   0.00000e+00  X_vel
                         <== siggen.0.cosine
```

Quand un signal est connecté à une ou plusieurs pins, la commande `show` liste les pins immédiatement suivies par nom du signal. Les flèches montrent la direction du flux de données, dans ce cas, les flux vont de la pin `siggen.0.cosine` pour le signal `X_vel`. Maintenant, connectons `X_vel` à l'entrée "velocity" du générateur d'impulsions carrées :

```
halcmd : net X_vel => freqgen.0.velocity
```

On peut aussi connecter l'axe Y au signal `Y_vel`. Il doit partir de la sortie sinus du générateur de signal pour arriver sur l'entrée du second générateur d'impulsions carrées. La commande suivante fait en une ligne, la même chose que les deux commandes `net` précédentes ont fait pour `X_vel` :

```
halcmd : net Y_vel siggen.0.sine => freqgen.1.velocity
```

Regardons une dernière fois les signaux et les pins connectés ensembles :

```
halcmd : show sig
Signals :
Type      Value      Name
float   0.00000e+00  X_vel
                         <== siggen.0.cosine
                         ==> freqgen.0.velocity
float   0.00000e+00  Y_vel
                         <== siggen.0.sine
                         ==> freqgen.1.velocity
```

Avec la commande `show sig` on voit clairement comment les flux de données traversent le HAL. Par exemple, le signal `X_vel` part de la pin `siggen.0.cosine` et arrive sur la pin `freqgen.0.velocity`.

2.5.3 Exécuter les réglages du temps réel - threads et functions

Penser à ce qui circule dans les "fils" rend les pins et les signaux assez faciles à comprendre. Les threads et les fonctions sont un peu plus difficiles. Les fonctions contiennent des instructions pour l'ordinateur. Les threads sont les méthodes utilisées pour faire exécuter ces instructions quand c'est nécessaire. Premièrement, regardons les fonctions dont nous disposons :

```
halcmd : show funct
Exported Functions :
Owner CodeAddr   Arg    FP  Users  Name
 03   D89051C4 D88F10FC YES    0   siggen.0.update
 02   D8902868 D88F1054 YES    0   freqgen.capture_position
 02   D8902498 D88F1054 NO     0   freqgen.make_pulses
 02   D89026F0 D88F1054 YES    0   freqgen.update_freq
```

En règle générale, vous devez vous référer à la documentation de chaque composant pour voir ce que font ses fonctions. Dans notre exemple, la fonction `siggen.0.update` est utilisée pour mettre à jour les sorties du générateur de signaux. Chaque fois qu'elle est exécutée, le générateur recalcule les valeurs de ses sorties sinus, cosinus, triangle, carrée. Pour générer un signal régulier, il doit fonctionner à des intervalles bien spécifiques.

Les trois autres fonctions sont liées au générateur d'impulsions :

La première, `freqgen.capture_position`, est utilisée pour un retour de position. Elle capture la valeur d'un compteur interne qui compte les impulsions qui sont générées. S'il n'y a pas de perte de pas, ce compteur indique la position du moteur.

La fonction principale du générateur d'impulsions est `freqgen.make_pulses`. Chaque fois que `make_pulses` démarre elle décide qu'il est temps de faire un pas, si oui il fixe les sorties en conséquence. Pour des pas plus doux, il doit fonctionner le plus souvent possible. Parce qu'il a besoin de fonctionner de manière rapide, `make_pulses` est hautement optimisé et n'effectue que quelques calculs. Contrairement aux autres, il n'a pas besoin de virgule flottante pour ses calculs.

La dernière fonction, `freqgen.update_freq`, est responsable de l'échelle et de quelques autres calculs qui ne doivent être effectués que lors d'une commande de changement de fréquence.

Pour notre exemple nous voulons faire tourner `siggen.0.update` avec une vitesse de calcul des valeurs sinus et cosinus modérée. Immédiatement après, nous lançons `siggen.0.update`. Nous voulons lancer `freqgen.update_freq` pour charger les nouvelles valeurs dans le générateur d'impulsions. Finalement nous lancerons `freqgen.make_pulses` aussi vite que possible pour des pas plus doux. Comme nous n'utilisons pas de retour de position, nous n'avons pas besoin de lancer `freqgen.capture_position`.

Nous lançons les fonctions en les ajoutant aux threads. Chaque thread va à une vitesse spécifique. Regardons de quels threads nous disposons :

```
halcmd : show thread
Realtime Threads :
   Period   FP   Name
```

```
   1005720 YES  slow    ( 0, 0 )
     50286 NO   fast    ( 0, 0 )
```

Les deux `threads` ont été créés lorsque nous les avons chargés. Le premier, `slow`, tourne toutes les millisecondes, il est capable d'exécuter des fonctions en virgule flottante (FP). Nous l'utilisons pour `siggen.0.update` et `freqgen.update_freq`. Le deuxième thread est `fast`, il tourne toutes les 50 microsecondes, il ne prend pas en charge les calculs en virgule flottante. Nous l'utilisons pour `freqgen.make_pulses`. Pour connecter des fonctions au bon thread, nous utilisons la commande `addf`. Nous spécifions la fonction en premier suivie par le thread :

```
halcmd : addf siggen.0.update slow
halcmd : addf freqgen.update_freq slow
halcmd : addf freqgen.make_pulses fast
```

Après avoir lancé ces commandes, nous pouvons lancer la commande `show thread` une nouvelle fois pour voir ce qui ce passe :

```
halcmd : show thread
Realtime Threads :
   Period   FP   Name    (Time, Max-Time)
    1005720 YES  slow    ( 0, 0 )
                  1 siggen.0.update
                  2 freqgen.update-freq
      50286 NO   fast    ( 0, 0 )
                  1 freqgen.make-pulses
```

Maintenant, chaque thread est suivi par les noms des fonctions, dans l'ordre dans lequel les fonctions seront exécutées.

2.5.4 Réglage des paramètres

Nous sommes presque prêts à démarrer notre système HAL. Mais il faut auparavant régler quelques paramètres. Par défaut le composant siggen génère des signaux qui varient entre +1 et -1. Pour notre exemple, c'est très bien, nous voulons que la vitesse de la table varie de +1 à -1 pouce par seconde. Toutefois, l'échelle du générateur d'impulsions de pas n'est pas bonne. Par défaut, il génère une fréquence de sortie de 1 pas par seconde avec une capacité de 1000. Il est fort improbable qu'un pas par seconde nous donne une vitesse de déplacement de la table d'un pouce par seconde. Supposons que notre vis fasse 5 tours par pouce, couplée à un moteur pas à pas de 200 pas par tour et une interface qui fournit 10x micropas par pas. Il faut donc 2000 pas pour faire un tour de vis et 5 tours pour faire un pouce. Ce qui signifie que notre montage utilisera 10000 pas par pouce. Nous avons besoin de multiplier la vitesse d'entrée à l'étape générateur d'impulsions par 10000 pour obtenir la bonne valeur. C'est exactement pour cela qu'existe le paramètre `freqgen.n.velocity-scale`. Dans notre cas, les axes X et Y ont la même échelle et nous pouvons passer les deux paramètres à 10000 :

```
halcmd : setp freqgen.0.velocity-scale 10000
halcmd : setp freqgen.1.velocity-scale 10000
```

Cela signifie que, avec la pin `freqgen.0.velocity` à 1.000 et le générateur réglé pour 10000 impulsions par seconde (10kHz), avec le moteur et la vis décrits précédemment, nos axes auront une vitesse de déplacement de exactement 1.000 pouce par seconde. Cela illustre une notion clé du concept de HAL, des éléments comme les échelles étant au plus bas niveau possible, dans notre exemple le générateur d'impulsions de pas, le signal interne `X_vel` est celui de la vitesse de déplacement de la table en pouces par seconde. Les autres composants comme `siggen` ne savent rien du tout à propos de l'échelle des autres. Si on change de vis, ou de moteur, il n'y a qu'un seul paramètre à changer, l'échelle du générateur d'impulsions de pas.

2.5.5 Lançons le !

Nous avons maintenant tout configuré et sommes prêts à démarrer. Tout comme dans le premier exemple, nous utilisons la commande `start` :

```
halcmd : start
```

Bien que rien ne semble se produire, à l'intérieur de l'ordinateur les impulsions de pas sont présentes sur la sortie du générateur, variant entre 10kHz dans un sens et 10kHz dans l'autre à chaque seconde. Dans la suite de ce tutoriel, nous allons voir comment convertir ces signaux internes des moteurs dans le monde réel, mais nous allons d'abord les examiner pour voir ce qui se passe.

2.6 Voyons-y de plus près avec halscope.

L'exemple précédent génère certains signaux très intéressants. Mais beaucoup de ce qui se passe est beaucoup trop rapide pour être vu avec halmeter. Pour examiner de plus près ce qui se passe à l'intérieur de HAL, il faudrait un oscilloscope. Heureusement HAL en a un, appelé halscope.

2.6.1 Démarrer Halscope

Halscope comporte deux parties, une partie en temps réel qui est chargée comme un module de noyau et une partie utilisateur qui fournit l'interface graphique et l'affichage. Cependant, vous n'avez pas à vous inquiéter à ce sujet car l'interface demandera automatiquement que la partie temps réel soit chargée :

```
halcmd : loadusr halscope
```

La fenêtre graphique du scope s'ouvre, immédiatement suivie par un dialogue "Realtime function not linked" visible sur la figure 2.4[5].

Ce dialogue est l'endroit où vous définissez le taux d'échantillonnage de l'oscilloscope. Pour le moment nous voulons un échantillon par milliseconde, alors cliquez sur le thread "slow" 1.03mSec et laissez le multiplicateur à 1. Nous allons aussi passer la longueur d'enregistrement à 4047 samples (échantillons), de sorte que nous puissions utiliser jusqu'à 4 canaux simultanément. Quand vous sélectionnez un thread puis que vous cliquez sur le bouton "OK", le dialogue disparaît et la fenêtre du scope affiche quelque chose comme sur la figure 2.5.

[5]Plusieurs de ces captures d'écran font référence à des threads nommés "siggen.thread" et "stepgen.thread" au lieu de "slow" et "fast". Lorsque les captures d'écran ont été faites, les composants thread n'existaient pas et différentes méthodes étaient utilisées pour créer des threads en leur donnant des noms différents. Aussi, les captures d'écran montrent des , etc, comme "stepgen.xxx" au lieux de "freqgen.xxx". Le nom original du module freqgen était stepgen et je n'ai pas eux le temps depuis pour refaire toutes les captures avec les nouveaux noms. Le nom "stepgen" actuel fait référence à un générateur d'impulsions de pas différent, un qui accepte les commandes de position au lieu de celles de vitesse. Les deux sont décrit en détail plus loin dans ce document.

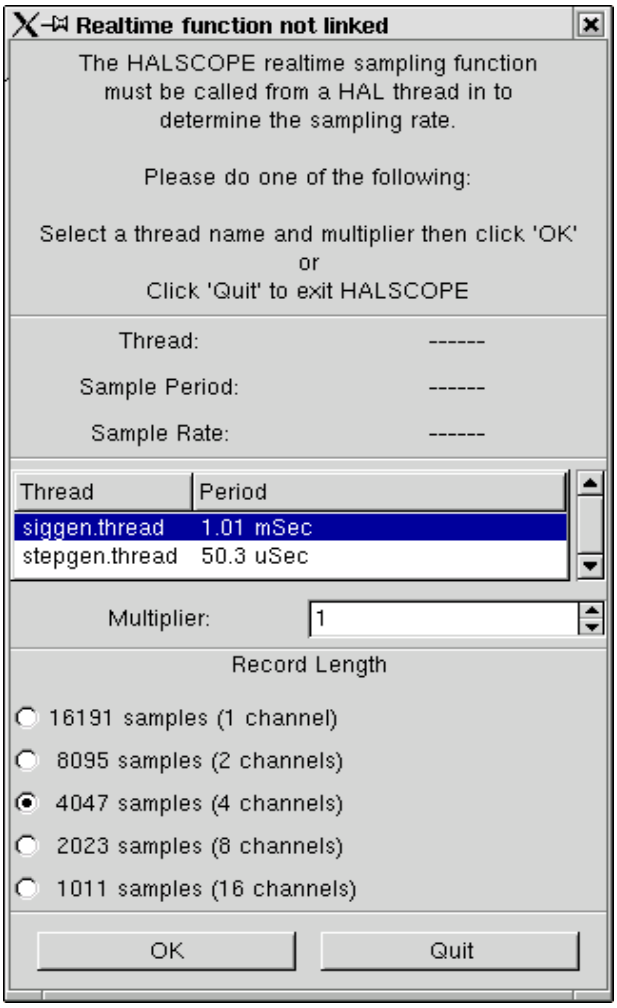


FIG. 2.4 – Dialogue“Realtime function not linked”

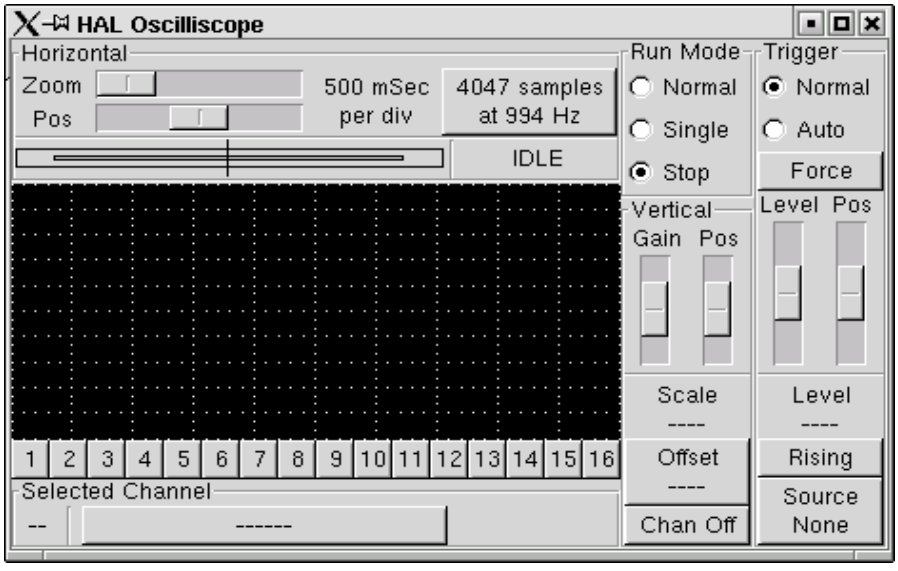


FIG. 2.5 – Fenêtre initiale du scope

2.6.2 Branchement des “sondes du scope”

À ce stade, Halscope est prêt à l’emploi. Nous avons déjà choisi le taux d’échantillonnage et la longueur d’enregistrement, de sorte que la prochaine étape consiste à décider de ce qu’il faut mesurer. C’est équivalent à brancher les “sondes virtuelles du scope” à HAL. Halscope dispose de 16 canaux, mais le nombre que vous pouvez utiliser à un moment donné dépend de la longueur d’enregistrement, plus il y a de canaux, plus les enregistrements doivent être courts, car la mémoire disponible pour l’enregistrement est fixée à environ 16000 échantillons.

Les boutons des canaux se situent en dessous de l’écran du scope. Cliquez le boutton “1” et vous verrez apparaître le dialogue de sélection “Select Channel Source”, comme sur la figure 2.6. Ce dialogue est très similaire à celui utilisé par Halmeter. Nous aimerions bien regarder les signaux que nous avons défini précédemment, pour cela, cliquons sur l’onglet “Signaux” et le dialogue affichera tous les signaux existants dans le HAL (seulement deux dans notre exemple).

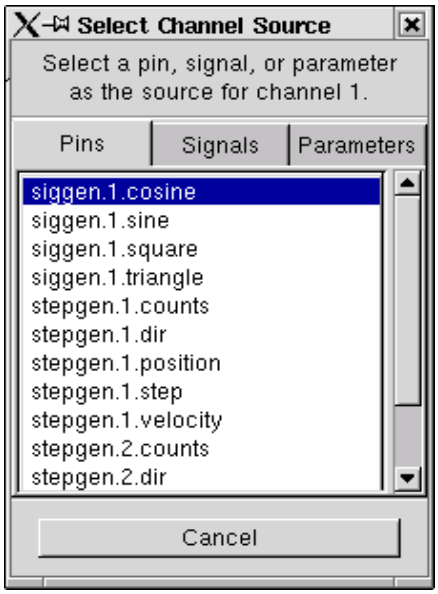


FIG. 2.6 – Dialogue de sélection du scope

Pour choisir un signal, il suffit de cliquer dessus. Dans notre cas, nous voulons utiliser le canal 1 pour afficher le signal “ X_vel”. Lorsque l’on clique sur “ X_vel”, la fenêtre se ferme et le canal a été sélectionné. Le bouton du canal 1 est pressé et le numéro du canal 1 et le nom “ X_vel” apparaissent sous la rangée de boutons. L’affichage indique toujours le canal sélectionné, vous pouvez avoir beaucoup de canaux sur l’écran, mais celui qui est actif sera en surbrillance. Les différents contrôles comme la position verticale et l’amplitude sont toujours relatifs au canal 1. Pour ajouter un signal au canal 2, cliquez sur le bouton "2”. Dans la fenêtre de dialogue, cliquez sur l’onglet "Signals”, puis cliquez sur “ Y_vel”.

Nous voulons aussi voir les signaux carrés et triangles produits. Il n’existe pas de signaux connectés à ces pins, nous utilisons donc l’onglet “Pins”. Pour le canal 3, sélectionnez “ siggen.0.triangle” et pour le canal 4, choisissez “ siggen.0.square”.

2.6.3 Capturer notre première forme d'onde

Maintenant que nous avons plusieurs sondes branchées sur HAL, il est temps de capturer quelques formes d'ondes. Pour démarrer le scope, cochez la case "Normal" du groupe "run mode" (en haut à droite). Puisque nous avons une longueur d'enregistrement de 4000 échantillons et une acquisition de 1000 échantillons par seconde, il faudra à halscope environ 2 secondes pour remplir la moitié de son tampon. Pendant ce temps, une barre de progression juste au-dessus de l'écran principal affichera le remplissage du tampon. Une fois que le tampon est à moitié plein, scope attend un déclencheur. Puisque nous n'en avons pas encore configuré, il attendra toujours. Pour déclencher manuellement, cliquez sur le bouton "Force" du groupe " Trigger" en haut à droite. Vous devriez voir le reste de la zone tampon se remplir, puis l'écran afficher les ondes capturées. Le résultat ressemble à la figure 2.7.

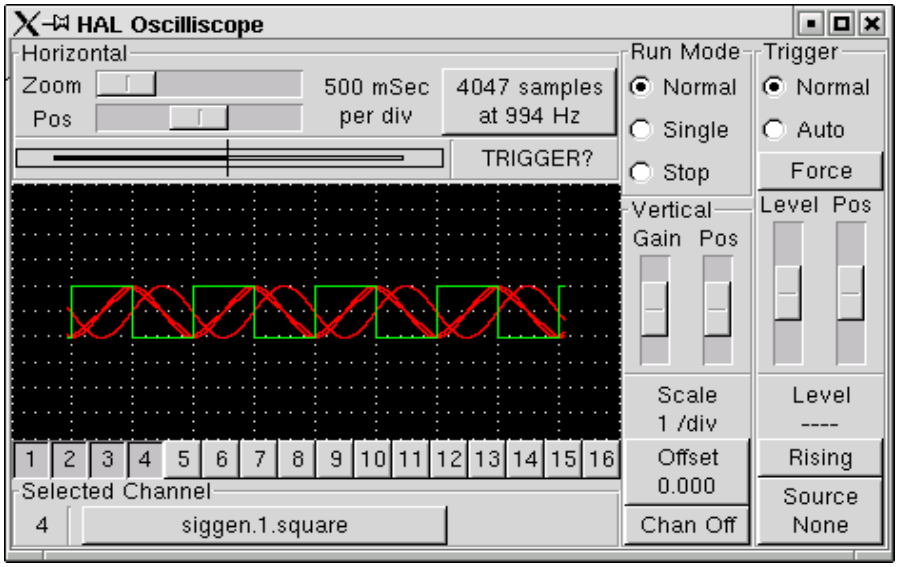


FIG. 2.7 – Capture d'ondes

Le grand bouton "Selected Channel" en bas, indique que le canal 4 est actuellement sélectionné, donc, qu'il correspond à l'onde verte, celle de la mesurée sur la pin "siggen.1.square". Essayez de cliquer sur les autres canaux pour mettre leurs traces en évidence.

2.6.4 Ajustement vertical

Les traces sont assez difficiles à distinguer car toutes les quatre sont les unes sur les autres. Pour résoudre ce problème, nous utilisons le curseur “Vertical” situé à droite de l’écran. Ces contrôles agissent sur le canal actuellement sélectionné. En ajustant le gain, notez qu’il couvre une large échelle (contrairement aux scopes réels), celle-ci permet d’afficher des signaux très petits (pico unités) à très grands (Tera - unités). Le curseur “position” déplace la trace affichée de haut en bas sur toute la hauteur de l’écran. Pour de plus grands ajustements le bouton Offset doit être utilisé (voir les références halscope dans la section 5.3 pour plus de détails).

2.6.5 Triggering

L’utilisation du bouton “Force” n’est parfois pas satisfaisante pour déclencher le scope. Pour régler un déclenchement (triggering) réel, cliquez sur le bouton “Source” situé en bas à droite. Il ouvre alors le dialogue “Trigger Source”, qui est simplement la liste de toutes les sondes actuellement branchées (Figure 2.8). Sélectionnez la sonde à utiliser pour déclencher en cliquant dessus. Pour notre exemple nous utilisons 3 canaux, essayez l’onde triangle.

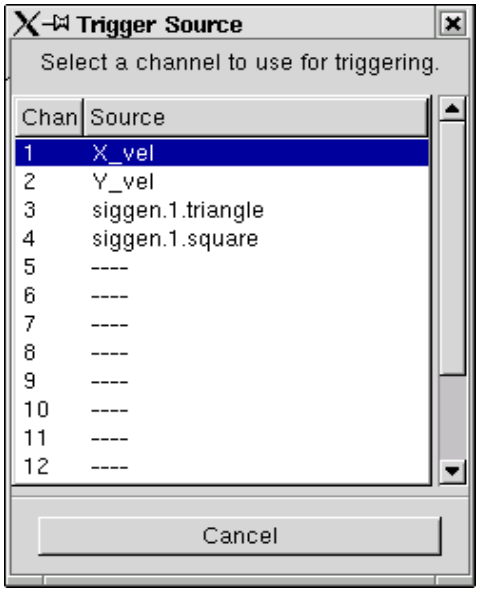


FIG. 2.8 – Dialogue des sources de déclenchement

Après avoir défini les sources de déclenchement, vous pouvez ajuster le niveau de déclenchement avec les curseurs dans la boîte “ Trigger” le long du bord droit. Le niveau peut être modifié à partir du haut vers le bas de l’écran, et est affiché sous les curseurs. La position est l’emplacement du point de déclenchement dans l’enregistrement complet. Avec le curseur tout en bas, le point de déclenchement est à la fin de l’enregistrement, et halscope affiche ce qui s’est passé avant le point de déclenchement. Lorsque le curseur est tout en haut, le point de déclenchement est au début de l’enregistrement, l’affichage représente ce qui s’est passé après le point de déclenchement. Le point de déclenchement est visible comme une ligne verticale dans la barre de progression située juste au dessus de l’écran. La polarité du signal de déclenchement peut être inversée en cliquant sur le bouton situé juste sous l’affichage du niveau de déclenchement. Notez que la modification de la position de déclenchement arrête le scope une fois la position ajustée, vous relancez le scope en cliquant sur le bouton “Normal” du groupe “Run Mode”.

Maintenant que nous avons réglé la position verticale et le déclenchement, l’écran doit ressembler à la figure 2.9.

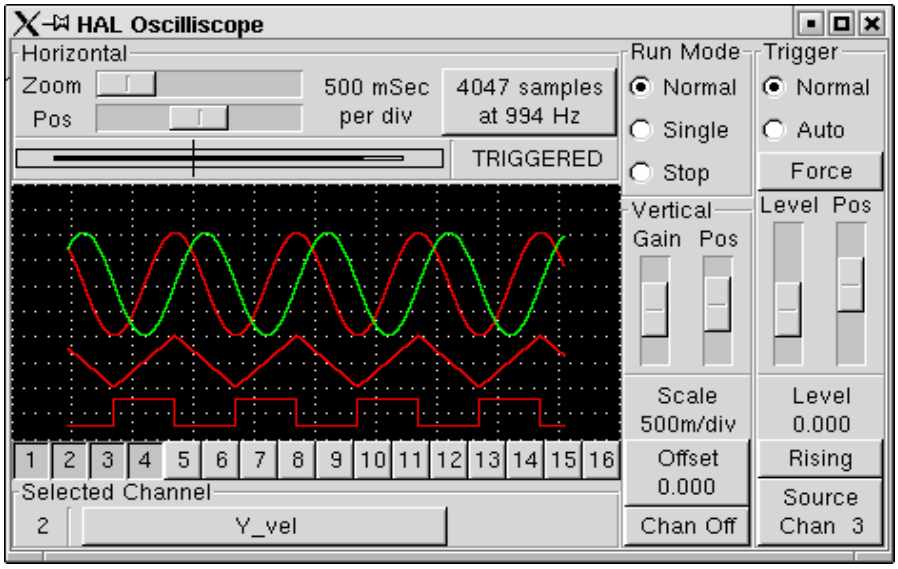


FIG. 2.9 – Formes d'ondes avec déclenchement

2.6.6 Ajustement horizontal

Pour examiner de près une partie d'une forme d'onde, vous pouvez utiliser le zoom au dessus de l'écran pour étendre la trace horizontalement et le curseur de position pour déterminer quelle partie de l'onde zoomée est visible. Parfois simplement élargir l'onde n'est pas suffisant et il faut augmenter la fréquence d'échantillonnage. Par exemple, nous aimerions voir les impulsions de pas qui sont générés dans notre exemple. Mais les impulsions de pas font seulement 50µs de long, l'échantillonnage à 1kHz n'est pas assez rapide. Pour changer le taux d'échantillonnage, cliquez sur le bouton qui affiche la longueur de l'enregistrement et l'échantillonnage pour avoir le dialogue "Select Sample Rate", figure 2.10. Pour notre exemple, nous cliquerons sur le thread à 50uS, "fast", qui fournira un échantillonnage à environ 20KHz. Maintenant au lieu d'afficher environ 4 secondes de données, un enregistrement est de 4000 échantillons à 20KHz, soit environ 0.20 seconde.

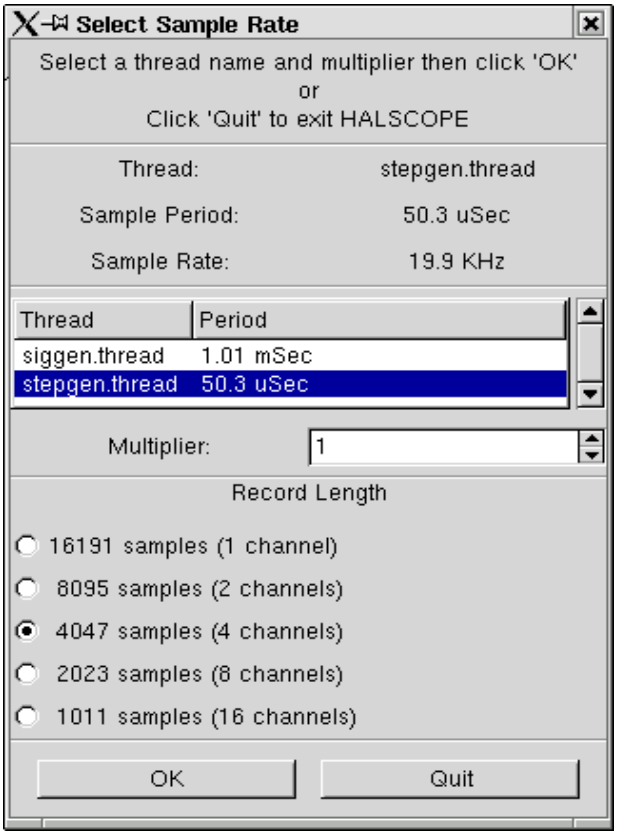


FIG. 2.10 – Dialogue de choix d'échantillonnage

2.6.7 Plus de canaux

Maintenant regardons les impulsions de pas. Halscope dispose de 16 canaux, mais pour cet exemple, nous en utilisons seulement 4 à la fois. Avant de sélectionner tout autre canal, nous avons besoin d'en éteindre certains. Cliquez sur le canal 2, puis sur le bouton "Off" sous le groupe " vertical". Ensuite, cliquez sur le canal 3, mettez le off et faites de même pour le canal 4. Même si les circuits sont éteints, ils ont encore en mémoire ce à quoi ils sont connectés et en fait, nous continuerons d'utiliser le canal 3 comme source de déclenchement. Pour ajouter de nouveaux canaux, sélectionnez le canal 5, choisissez la pin " stepgen.1.dir", puis canal 6 et sélectionnez "stepgen.1.step". Ensuite, cliquez sur "mode Normal" pour lancer le scope, ajustez le zoom horizontal à 5ms par division. Vous devriez voir les impulsions de pas ralentir à la vitesse commandée (channel 1) approcher de zéro, puis la pin de direction changer d'état et les impulsions de pas reprendre de nouveau de la vitesse. Vous aurez peut être besoin d'augmenter le gain sur le canal 1 à environ 20ms par division afin de mieux voir l'évolution de la vitesse de commande. Le résultat devrait être proche de celui de la figure 2.11.

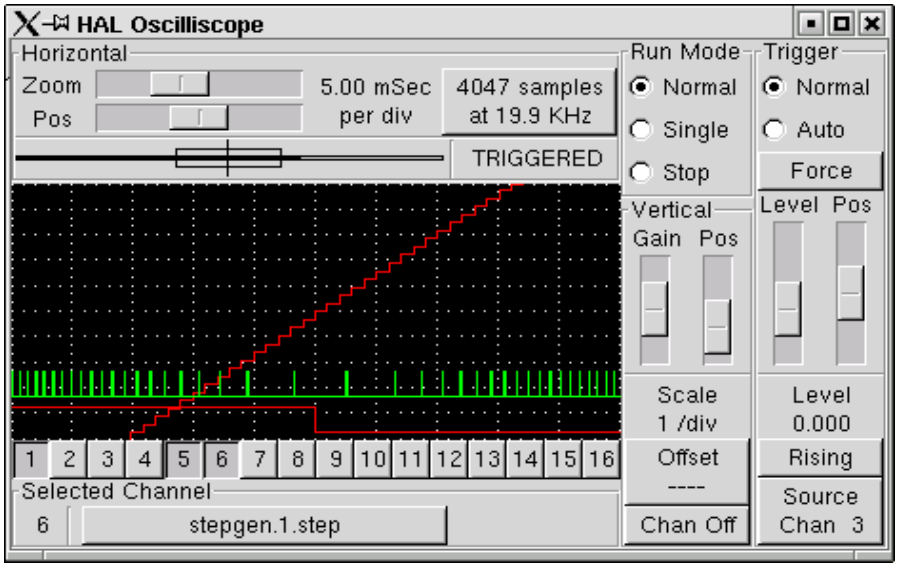


FIG. 2.11 – Observer les impulsions de pas

2.6.8 Plus d'échantillons

Si vous souhaitez enregistrer plus d'échantillons à la fois, redémarrez le temps réel et chargez halscope avec un argument numérique qui indique le nombre d'échantillons que vous voulez capturer, comme :

```
halcmd : loadusr halscope 80000
```

Si le composant `scope_rt` n'est pas déjà chargé, halscope va le charger et lui demander un total de 80000 échantillons, de sorte que lorsque l'échantillonnage se fera sur 4 canaux à la fois, il y aura 20000 échantillons par canal. (Si `scope_rt` est déjà chargé, l'argument numérique passé à halscope sera sans effet)

Deuxième partie

Documentation de HAL

Chapitre 3

Informations générales

3.1 Notation

3.1.1 Conventions typographiques

Les lignes de commandes sont représentées en police **`bold typewriter`**. Les réponses de l'ordinateur sont en police `typewriter`. Depuis début 2006, plus aucune commande ne nécessite les privilèges du root, de sorte que tous les exemples seront précédés par le prompt utilisateur normal, `$`. Le texte entre crochets est un texte optionnel `[comme-cela]`. Le texte entre crochets `<comme-cela>` représente un champ qui peut prendre différentes valeurs, le paragraphe suivant explique les valeurs appropriées. Les items de texte séparés par une barre verticale signifie que l'un ou l'autre, mais pas plus, doit être présent. Toutes les lignes de commandes des exemples supposent que vous êtes dans le répertoire `d'emc2/` ou vous avez configuré ou compilé emc2 avec l'option –run-in-place. Les chemins seront par conséquent, affichés en accord avec cet emplacement.

3.1.2 Noms

Toutes les entités de HAL sont accessibles et manipulées par leurs noms, donc, documenter les noms des pins, signaux, paramètres, etc, est très important. Les noms dans HAL ont un maximum de 41 caractères de long (comme défini par HAL_NAME_LEN dans hal.h). De nombreux noms seront présentés dans la forme générale, avec un texte entre crochets `<comme-cela>` représentant les champs de valeurs diverses.

Quand les pins, signaux, ou paramètres sont décrits pour la première fois, leur nom sera précédé par leur type en (PETITES CAPITALES) et suivi par une brève description. Les définitions typiques de pins ressemblent à ces exemples :

– `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-in` – La HAL pin associée avec la broche physique d'entrée `<pinnum>` du connecteur db25.
– `(FLOAT) pid.<loopnum>.output` – La sortie de la boucle PID.

De temps en temps, une version abrégée du nom peut être utilisée, par exemple la deuxième pin ci-dessus pourrait être appelée simplement `avec .output` quand cela peut être fait sans prêter à confusion.

3.2 Conventions générales de nommage

Le but des conventions de nommage est de rendre l'utilisation de HAL plus facile. Par exemple, si plusieurs interfaces de codeur fournissent le même jeu de pins et qu'elles sont nommées de la même façon, il serait facile de changer l'interface d'un codeur à un autre. Malheureusement, comme tout projet open-source, HAL est la combinaison de choses diversement conçues et comme les choses simples évoluent. Il en résulte de nombreuses incohérences. Cette section vise à remédier à ce

problème en définissant certaines conventions, mais il faudra certainement un certain temps avant que tous les modules soient convertis pour les suivre.

Halcmd et d'autres utilitaires HAL de bas niveau, traitent les noms HAL comme de simples entités, sans structure. Toutefois, la plupart des modules ont une certaine structure implicite. Par exemple, une carte fournit plusieurs blocs fonctionnels, chaque bloc peut avoir plusieurs canaux et chaque canal, une ou plusieurs broches. La structure qui en résulte ressemble à une arborescence de répertoires. Même si halcmd ne reconnait pas la structure arborescente, la convention de nommage est un bon choix, elles lui permettra de regrouper ensemble, les items du même groupe, car il trie les noms. En outre, les outils de haut niveau peuvent être conçus pour reconnaitre de telles structures si les noms fournissent les informations nécessaires. Pour cela, tous les modules de HAL devraient suivrent les règles suivantes :

– Les points (".") séparent les niveaux hiérarchiques. C'est analogue à la barre de fraction ("/") dans les noms de fichiers.
– Le tiret ("-") sépare les mots ou les champs dans la même hiérarchie.
– Les modules HAL ne doivent pas utiliser le caractère souligné ou les casses mélangées. [1]
– Utiliser seulement des caractères minuscules, lettres et chiffres.

3.3 Conventions de nommage des pilotes de matériels[2]

3.3.1 Noms de pin/paramètre

Les pilotes matériels devraient utiliser cinq champs (sur trois niveaux) pour obtenir un nom de pin ou de paramètre, comme le suivant :

<device-name>.<device-num>.<io-type>.<chan-num>.<specific-name>

Les champs individuels sont :

<device-name> Le matériel avec lequel le pilote est sensé travailler. Il s'agit le plus souvent d'une carte d'interface d'un certain type, mais il existe d'autres possibilités.

<device-num> Il est possible d'installer plusieurs cartes servo, ports parallèles ou autre périphérique matériel dans un ordinateur. Le numéro du périphérique identifie un périphérique spécifique. Les numéros de périphériques commencent à 0 et s'incrémentent.[3]

<io-type> La plupart des périphériques fournissent plus d'un type d'I/O. Même le simple port parallèle a, à la fois plusieurs entrées et plusieurs sorties numériques. Les cartes commerciales plus complexes peuvent avoir des entrées et des sorties numériques, des compteurs de codeurs, des générateurs d'impulsions de pas ou de PWM, des convertisseurs numérique/analogique, analogique/numérique et d'autres possibilités plus spécifiques. Le "I/O type" est utilisé pour identifier le type d'I/O avec lequel la pin ou le paramètre est associé. Idéalement, les pilotes qui implémentent les mêmes type d'I/O, même sur des dispositifs très différents, devraient fournir un jeu de pins et de paramètres cohérents et de comportements identiques. Par exemple, toutes les entrées numériques doivent se comporter de la même manière quand elles sont vues de l'intérieur de HAL, indépendamment du périphérique.

<chan-num> Quasiment tous les périphériques d'I/O ont plusieurs canaux, le numéro de canal "chan-num" identifie un de ceux ci. Comme les numéros de périphériques "device-num", les

[1] Les caractères souslignés ont été enlevés, mais il reste quelques cas de mélange de casses, par exemple "pid.0.Pgain" au lieux de "pid.0.p-gain".

[2] La plupart des pilotes ne suivent pas ces conventions dans la version 2.0. Ce chapitre est réellement un guide pour les développements futurs.

[3] Certains matériels utilisent des cavaliers ou d'autres dispositifs pour définir une identification spécifique à chacun. Idéalement, le pilote fournit une manière à l'utilisateur de dire, le "device-num 0 est spécifique au périphérique qui a l'ID XXX", ses sous-ensembles porterons tous un numéro commençant par 0. Mais à l'heure actuelle, certains pilotes utilisent l'ID directement comme numéro de périphérique. Ce qui signifie qu'il est possible d'avoir un périphérique Numéro 2, sans en avoir en Numéro 0. C'est un bug qui devrait disparaître en version 2.1.

numéros de canaux, “chan-num”, commencent à zéro et s’incrémentent.[4] Si plusieurs périphériques sont installés, les numéro de canaux des périphériques supplémentaires recommencent à zéro. Comme il est possible d’avoir un numéro de canal supérieur à 9, les numéros de canaux doivent avoir deux chiffres, avec un zéro en tête pour les nombres inférieur à 10 pour préserver l’ordre des tris. Certains modules ont des pins et/ou des paramètres qui affectent plusieurs canaux. Par exemple un générateur de PWM peut avoir quatre canaux avec quatre entrées “duty-cycle” indépendantes, mais un seul paramètre “frequency” qui contrôle les quatres canaux (à cause de limitations matérielles). Le paramètre “frequency” doit utiliser les numéros de canaux de “00-03”.

<specific-name> Un canal individuel d’I/O peut avoir une seule HAL pin associée avec lui, mais la plupart en ont plus. Par exemple, une entrée numérique a deux pins, une qui est l’état de la broche physique, l’autre qui est la même chose mais inversée. Cela permet au configurateur de choisir entre les deux états de l’entrée, active haute ou active basse. Pour la plupart des types d’ entrée/sortie, il existe un jeu standard de broches et de paramètres, (appelé l’“interface canonique”) que le pilote doit implémenter. Les interfaces canoniques sont décrites au chapitre 4.

3.3.1.1 Exemples

motenc.0.encoder.2.position – la sortie position du troisième canal codeur sur la première carte Motenc.

stg.0.din.03.in – l’état de la quatrième entrée numérique sur la première carte Servo-to-Go.

ppmc.0.pwm.00-03.frequency – la fréquence porteuse utilisée sur les canaux PWM de 0 à 3.

3.3.2 Noms des fonctions

Les pilotes matériels ont généralement seulement deux types de fonctions HAL, une qui lit l’état du matériel et met à jour les pins HAL, l’autre qui écrit sur le matériel en utilisant les données fournies sur les pins HAL. Ce qui devrait être nommé de la façon suivante :

<device-name>-<device-num>[.<io-type>[-<chan-num-range>]].read|write

<device-name> Le même que celui utilisé pour les pins et les paramètres.

<device-num> Le périphérique spécifique auquel la fonction aura accès.

<io-type> Optionnel. Une fonction peut accéder à toutes les d’entrées/sorties d’une carte ou, elle peut accéder seulement à un certain type. Par exemple, il peut y avoir des fonctions indépendantes pour lire les compteurs de codeurs et lire les entrées/sorties numériques. Si de telles fonctions indépendantes existent, le champ <io-type> identifie le type d’I/O auquelles elles auront accès. Si une simple fonction lit toutes les entrés/sorties fournies par la carte, <io-type> n’est pas utilisé.[5]

<chan-num-range> Optionnel. Utilisé seulement si l’entrée/sortie <io-type> est cassée dans des groupes et est accédée par différentes fonctions.

read|write Indique si la fonction lit le matériel ou lui écrit.

[4] Une exception à la règle du “numéro de canal commençant à zéro” est le port parallèle. Ses “HAL pins” sont numérotées avec le numéro de la broche correspondante du connecteur DB-25. C’est plus pratique pour le câblage, mais non cohérent avec les autres pilotes. Il y a débat pour savoir si c’est un bogue ou une fonctionnalité.

[5] Note aux programmeurs de pilotes : ne PAS implémenter des fonctions séparées pour différents types d’I/O à moins qu’elles ne soient interruptibles et puissent marcher dans des threads indépendants. Si l’interruption de la lecture d’un codeur pour lire des entrées numériques, puis reprendre la lecture du codeur peut poser problème, alors implémentez une fonction unique qui fera tout.

3.3.2.1 Exemples

motenc.0.encoder.read – lit tous les codeurs sur la première carte motenc.

generic8255.0.din.09-15.read – lit le deuxième port 8 bits sur la première carte d'entrées/sorties à base de 8255.

ppmc.0.write – écrit toutes les sorties (générateur de pas, pwm, DAC et ADC) sur la première carte ppmc.

Chapitre 4

Périphériques d'interfaces canoniques[1]

Les sections qui suivent expliquent les pins, paramètres et functions qui sont fournies par les "périphériques canoniques". Tous les pilotes de périphériques HAL devraient fournir les mêmes pins et paramètres et implémenter les mêmes comportements.

Noter que seuls les champs `<io-type>` et `<specific-name>` sont définis pour un périphérique canonique. Les champs `<device-name>`, `<device-num>` et `<chan-num>` sont définis en fonction des caractéristiques du périphérique réel.

4.1 Entrée numérique (Digital Input)

L'entrée numérique canonique (I/O type : **digin**) est assez simple.

4.1.1 Pins

– (BIT) **in** – état de l'entrée matérielle.
– (BIT) **in-not** – état inversé de l'entrée matérielle.

4.1.2 Paramètres

– Aucun

4.1.3 Fonctions

– (FUNCT) **read** – lire le matériel et ajuster les HAL pins **in** et **in-not**.

4.2 Sortie numérique (Digital Output)

La sortie numérique canonique est également très simple (I/O type : **digout**).

4.2.1 Pins

– (BIT) **out** – Valeur à écrire (éventuellement inversée) sur une sortie matérielle.

[1] Ã partir de la version 2.0, la plupart des pilotes de HAL ne correspondent plus tout à fait à l'interface canonique décrite ici. Dans le version 2.1, les pilotes seront modifiés pour correspondre à ces spécifications.

4.2.2 Paramètres

– (BIT) **`invert`** – Si TRUE, **`out`** est inversée avant écriture sur la matériel.

4.2.3 Fonctions

– (FUNCT) **`write`** – Lit **`out`** et **`invert`** et ajuste la sortie en conséquence.

4.3 Entrée analogique (Analog Input)

L'entrée analogique canonique (I/O type : **`adcin`**). Devrait être utilisée pour les convertisseurs analogiques/numériques, qui convertissent par exemple, les tensions en une échelle continue de valeurs.

4.3.1 Pins

– (FLOAT) **value** – Lecture du matériel, avec mise à l'échelle ajustée par les paramètres **scale** et **offset**. **Value =** ((lecture entrée, en unités dépendantes du matériel) * **scale**) - **offset**

4.3.2 Paramètres

– (FLOAT) **scale** – La tension d'entrée (ou l'intensité) sera multipliée par **scale** avant d'être placée dans **value**.
– (FLOAT) **offset** – Sera soustrait à la tension d'entrée (ou l'intensité) après que la mise à l'échelle par scale ait été appliquée.
– (FLOAT) **bit_weight** – Valeur du bit le moins significatif (LSB). C'est effectivement, la granularité de lecture en entrée.
– (FLOAT) **hw_offset** – Valeur présente sur l'entrée quand 0 volts sont appliqués sur la pin d'entrée.

4.3.3 Fonctions

– (FUNCT) **read** – Lit les valeurs de ce canal d'entrée analogique. Peut être utilisé pour lire un canal individuellement, ou pour lire tous les canaux à la fois.

4.4 Sortie analogique (Analog Output)

La sortie analogique canonique (I/O Type : **`adcout`**). Elle est destinée à tout type de matériel capable de sortir une échelle plus ou moins étendue de valeurs. Comme par exemple les convertisseurs numérique/analogique ou les générateurs de PWM.

Pins

– (FLOAT) **value** – La valeur à écrire. La valeur réelle sur la sortie matérielle dépends de la mise à l'échelle des paramètres d'offset.
– (BIT) **enable** – Si fausse, la sortie matérielle passera à 0, indépendamment de la pin **value**.

4.4.1 Paramètres

– (FLOAT) **offset** – Sera ajouté à **value** avant l'actualisation du matériel.
– (FLOAT) **scale** – Doit être défini de sorte qu'une entrée avec 1 dans **value** produira 1V
– (FLOAT) **high_limit** (optionnel) – Quand la valeur en sortie matérielle est calculée, si **value** + **offset** est plus grande que **high_limit**, alors **high_limit** lui sera substitué.

– (FLOAT) **low_limit** (optionnel) – Quand la valeur en sortie matérielle est calculée, si **value** + **offset** est plus petite que **low_limit**, alors **low_limit** lui sera substitué.
– (FLOAT) **bit_weight** (optionnel) – La valeur du bit le moins significatif (LSB), en Volts (ou mA, pour les sorties courant)
– (FLOAT) **hw_offset** (optionnel) – La tension actuelle (ou l'intensité) présente sur la sortie quand 0 est écrit sur le matériel.

4.4.2 Fonctions

(FUNCT) **write** – Ecrit la valeur calculée sur la sortie matérielle. Si enable est fausse, la sortie passera à 0, indépendamment des valeurs de **value**, **scale** et **offset**. La signification de "0" dépend du matériel. Par exemple, un convertisseur A/D 12 bits peut vouloir écrire 0x1FF (milieu d'échelle) alors que le convertisseur D/A reçoit 0 Volt de la broche matérielle. Si enable est vraie, l'échelle, l'offset et la valeur sont traités et (**scale** * **value**) + **offset** sont envoyés en sortie de l'adc . Si enable est faux, la sortie passe à 0.

4.5 Codeur

L'interface de codeur canonique(I/O type : **`encoder`**) fournit les fonctionnalités nécessaires pour une prise d'origine sur une impulsion d'index et pour la synchronisation avec la vitesse de broche, ainsi que de base pour le positionnement et/ou le contrôle de vitesse. Cette interface devrait être implémentable quel que soit le matériel sous-jacent, même si certains matériels donnent de "meilleurs" résultats que d'autres. (Par exemple, pour capturer un index de position à +/- 1 impulsion lors d'un mouvement rapide, ou avoir moins de fluctuation sur la pin de vitesse).

4.5.1 Pins

– (S32) **`count`** – Valeur de comptage du codeur.
– (FLOAT) **`position`** – Valeur de position en unités de longueur (voir paramètre "scale").
– (FLOAT) **`velocity`** – Vitesse en unités de longueur par seconde.
– (BIT) **`reset`** – Quand il est vrai, force le compteur à zéro.
– (BIT) **`index-enable`** – (bidirectionnel) Quand il est vrai, remise à zéro à la prochaine impulsion d'index et passe les pins sur faux.

La pin "index-enable" est bi-directionnelle, elle exige un peu plus d'explications. Si "index-enable" est faux, le canal d'index du codeur sera ignoré et le compteur comptera normalement. Le pilote du codeur ne passera jamais "index-enable" sur vrai. Cependant, un autre composant peut le faire. Si "index-enable" est vrai, alors quand la prochaine impulsion d'index arrivera, le compteur du codeur sera remis à zéro et le pilote passera "index-enable" sur faux. Ce qui permettra à l'autre composant de savoir qu'une impulsion d'index est arrivée. C'est une forme de poignée de main, l'autre composant passe "index-enable" sur vrai pour requérir une remise à zéro du comptage d'impulsion d'index et le pilote le repasse sur faux quand la requête à été satisfaite.

4.5.2 Paramètres

– (FLOAT) **`scale`** – Le facteur d'échelle à utiliser pour convertir la valeur de comptage (count) en unités de longueur. Il se trouve dans "counts par unité de longueur". Par exemple, si vous avez un codeur qui fournit 512 impulsions par tour de codeur sur une vis qui fait 5 tours par pouce, l'échelle (scale) devra être de 512*5 = 2560 counts par pouce, ce qui se traduira par la "position" en pouces et la "vitesse" en pouces par seconde.
– (FLOAT) **`max-index-vel`** – (optionnel) La vitesse maximale (en unités de longueur par seconde) à laquelle le codeur peut remettre le comptage à zéro avec une précision de +/- 1 impulsion. Il s'agit d'une sortie du pilote du codeur, elle est destinée à informer l'utilisateur des capacités du codeur. Certains codeurs peuvent remettre le comptage à zéro exactement à l'apparition de l'impulsion d'index. D'autres peuvent seulement dire qu'une impulsion d'index s'est produite depuis

la dernière fois que la fonction de lecture à été appelée. Pour ces derniers, une précision de +/- 1 impulsion ne peut être atteinte que si le codeur avance d'une impulsion ou moins entre deux appels à la fonction de lecture.

– (FLOAT) **velocity-resolution** – (optionnel) La résolution de la sortie vitesse, en unités de longueur par seconde. Il s'agit d'une sortie du pilote du codeur, elle est destinée à informer l'utilisateur des capacités du codeur. L'implémentation la plus simple de la sortie vitesse est le changement de position entre deux appels à la fonction de lecture, divisé par le temps entre ces appels. Cela permet d'obtenir un signal de vitesse grossier avec des fluctuations évaluées entre deux valeurs aussi éloignées que possible (erreur de quantification). Cependant, certains matériels capturent le comptage et le temps exact quand une impulsion arrive (éventuellement avec une haute résolution d'horloge). Ces données permettent au pilote de calculer une vitesse avec une résolution plus fine et moins de fluctuations.

4.5.3 Fonctions

Il n'y a qu'une fonction pour lire les codeurs.

– (FUNCT) **read** – Capture le comptage (counts) et mets à jour la position et la vitesse.

Chapitre 5

Outils et utilitaires pour HAL

5.1 Halcmd

Halcmd est un outil en ligne de commande pour manipuler HAL. Il existe une man page plus complète pour halcmd, elle sera installée en même temps qu' EMC2 depuis ses sources ou depuis un paquet. Si EMC2 a été compilé en "run-in-place", la man page n'est pas installée, mais elle est accessible, dans le répertoire principal d'EMC2, taper :

```
$ man -M docs/man halcmd
```

Le chapitre 2 montre de nombreux exemples d'utilisation de halcmd, c'est un bon tutoriel pour halcmd.

5.2 Halmeter

Halmeter est un "voltmètre" pour HAL. Il permet de regarder les pins, signaux, ou paramètres en affichant la valeur courante de ces items. Il est très simple à utiliser. Dans une console taper "`halmeter`". Halmeter est une application pour environnement graphique. Deux fenêtres vont apparaîtrent, la fenêtre de sélection est la plus grande. Elle comprend trois onglets. Un onglet liste toutes les pins actuellement définies dans HAL. Le suivant, liste tous les signaux et le dernier onglet, liste tous les paramètres. Cliquer sur un onglet, puis cliquer sur un des pin/signal/paramètre pour le sélectionner. La petite fenêtre affichera le nom et la valeur de l'item sélectionné. L'affichage est mis à jour environ 10 fois par seconde. Pour libérer de la place sur l'écran, la fenêtre de sélection peut être fermée avec le bouton "Close". Sur la petite fenêtre, cachée sous la grande à l'ouverture, le bouton "Select", réouvre la fenêtre de sélection et le bouton Exit arrête le programme et ferme les fenêtres.

Il est possible d'ouvrir et de faire fonctionner simultanément plusieurs halmeters, ce qui permet de visualiser plusiers items en même temps. Pour ouvrir un halmeter en libérant la console, taper "`halmeter &`" pour le lancer en tâche de fond. Il est possible de lancer halmeter en lui faisant afficher immédiatement un item, pour cela, ajouter les arguments sur la ligne de commande "`pin|sig|par[am] <nom>`". Il affichera le signal, pin, ou paramètre <nom> dès qu'il démarrera. (Si l'item indiqué n'existe pas, il démarrera normalement. Finalement, si un item est spécifié pour l'affichage, il est possible d'ajouter "-s" devant pin|sig|param pour indiquer à halmeter d'utiliser une fenêtre encore plus réduite. Le nom de l'item sera affiché dans la barre de titre au lieu de sous la valeur et il n'y aura pas de bouton. Utile pour afficher beaucoup de halmeter dans un petit espace de l'écran.

5.3 Halscope

Halscope est un "oscilloscope" pour HAL. Il permet de capturer la valeur des pins, signaux et paramètres en fonction du temps. Des instructions plus complètes seront ajoutées ici, éventuellement.

Pour l'instant, se référer à la section 2.6 dans le chapitre du tutoriel, qui explique les bases de son utilisation.

5.4 Halshow

Le script halshow peut vous aider à retrouver votre chemin dans un HAL en fonctionnement. Il s'agit d'un système très spécialisé qui doit se connecter à un HAL en marche. Il ne peut pas fonctionner seul car il repose sur la capacité de HAL de rapporter ce qu'il connaît de lui même par la librairie d'interface de halcmd. Chaque fois que halshow fonctionne avec une configuration d'EMC différente, il sera différent.

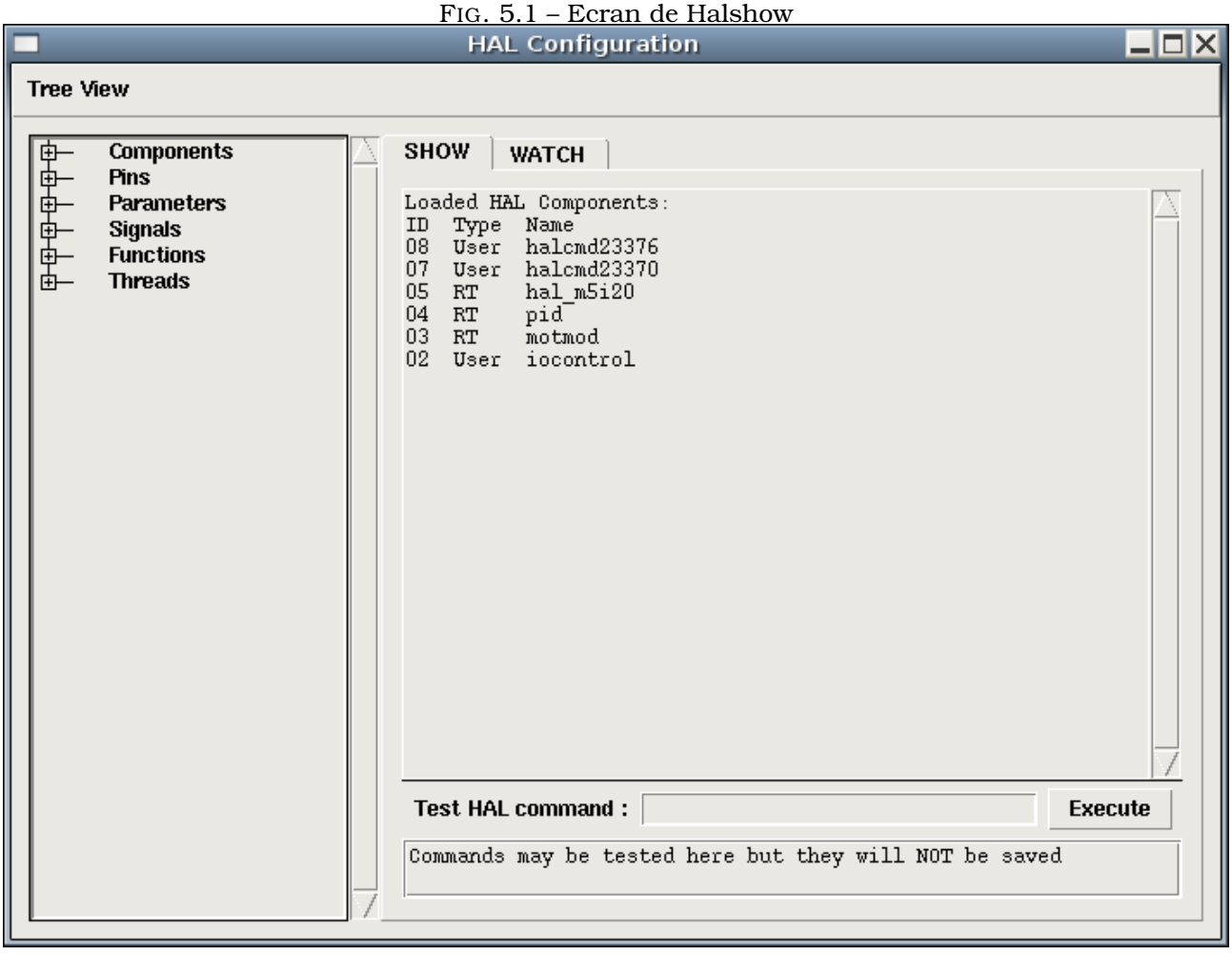
Comme nous le verrons bientôt, cette capacité de HAL de se documenter lui même est un des facteurs clés pour arriver à un système CNC optimum.

On peut accéder à Halshow depuis Axis, pour cela, aller dans le menu "Machine" puis choisir "Afficher la configuration de HAL".

5.4.1 Zone de l'arborescence de Hal

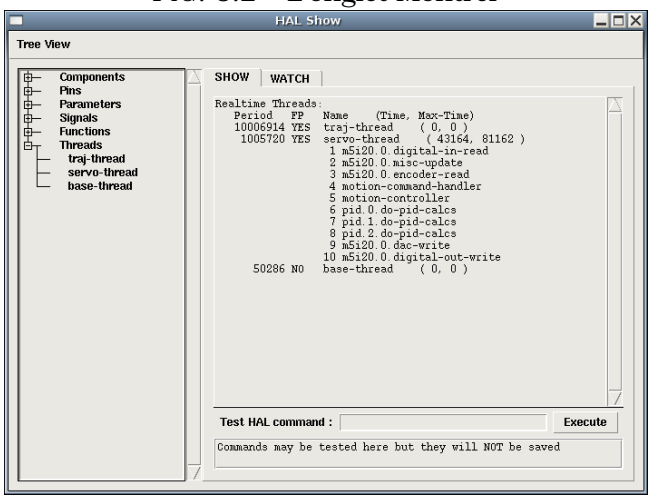
La gauche de l'écran que montre la figure 5.1 est une arborescence, un peu comme vous pouvez le voir avec certains navigateurs de fichiers. Sur la droite, une zone avec deux onglets : MONTRER et WATCH.

FIG. 5.1 – Ecran de Halshow



L'arborescence montre toutes les parties principales de HAL. En face de chacune d'entre elles, se trouve un petit signe + ou - dans une case. Cliquer sur le signe plus pour déployer cette partie de l'arborescence et affichera son contenu. Si cette case affiche un signe moins, cliquer dessus repliera cette section de l'arborescence.

FIG. 5.2 – L'onglet Montrer



Il est également possible de déployer et de replier l'arborescence complète depuis le menu "Arborescence".

5.4.2 Zone de l'onglet MONTRER

En cliquant sur un nom dans l'arborescence plutôt que sur son signe plus ou moins, par exemple le mot "Components", HAL affichera tout ce qu'il connait du contenu de celui-ci. La figure 5.1 montre une liste comme celle que vous verrez si vous cliquez sur "Components" avec une carte servo standard m5i20 en fonctionnement. L'affichage des informations est exactement le même que celui des traditionnels outils d'analyse de HAL en mode texte. L'avantage ici, c'est que nous y avons accès d'un clic de souris. Accès qui peut être aussi large ou aussi focalisé que vous le voulez.

Si nous examinons de plus près l'affichage de l'arborescence, nous pouvons voir que les six éléments principaux peuvent tous être déployés d'au moins un niveau. Quand ces niveaux sont à leur tour déployés vous obtenez une information de plus en plus focalisée en cliquant sur le nom des éléments dans l'arborescence. Vous trouverez que certaines hal pins et certains paramètres affichent plusieurs réponses. C'est dû à la nature des routines de recherche dans halcmd lui même. Si vous cherchez une pin, vous pouvez en trouver deux comme cela :

```
Component Pins :
Owner Type Dir Value Name
06 bit -W TRUE parport.0.pin-10-in
06 bit -W FALSE parport.0.pin-10-in-not
```

Le deuxième nom de pin contient le nom complémenté du premier.

Dans le bas de l'onglet Montrer, un champ de saisie permet de jouer sur le fonctionnement de HAL. Les commandes que vous entrez ici et leur effet sur HAL, ne sont pas enregistrés. Elles persisteront tant qu'EMC tournera, mais disparaîtront dès son arrêt.

Le champ de saisie marqué "Tester une commande HAL :" acceptera n'importe quelle commande valide pour halcmd. Elles incluent :

- loadrt, unloadrt
- addf, delf
- newsig, delsig
- linkpp, linksp, linkps, unlinkp
- setp, sets

Ce petit éditeur entrera une commande à chaque fois que vous presserez <Entrée> ou que vous cliquerez sur le bouton "Exécuter". Si une commande y est mal formée, un dialogue d'erreur s'affichera. Si vous n'êtes pas sûr de savoir comment formuler une commande, vous trouverez la réponse dans la documentation de halcmd et des modules spécifiques avec lesquels vous travaillez.

Nous allons utiliser cet éditeur pour ajouter un module différentiel à HAL et le connecter à la position d'un axe pour voir le ratio de changement de position, par exemple, l'accélération. Il faut d'abord charger un module de HAL nommé blocks, l'ajouter au thread servo et le connectet à la pin position d'un axe. Une fois cela fait, nous pourrons retrouver la sortie du différentiateur dans halscope. Alors allons-y. (oui j'ai vérifié).

```
loadrt blocks ddt=1
```

Maintenant, regardez dans components, vous devriez y voir blocks.

```
Loaded HAL Components :
ID Type Name
10 User halcmd29800
09 User halcmd29374
08 RT blocks
06 RT hal_parport
05 RT scope_rt
04 RT stepgen
03 RT motmod
02 User iocontrol
```

Effectivement, il est là. Dans notre cas l'id est 08. Ensuite nous devons savoir quelles fonctions sont disponibles avec lui, nous regardons dans Functions.

```
Exported Functions :
Owner CodeAddr Arg FP Users Name
08 E0B97630 E0DC7674 YES 0 ddt.0
03 E0DEF83C 00000000 YES 1 motion-command-handler
03 E0DF0BF3 00000000 YES 1 motion-controller
06 E0B541FE E0DC75B8 NO 1 parport.0.read
06 E0B54270 E0DC75B8 NO 1 parport.0.write
06 E0B54309 E0DC75B8 NO 0 parport.read-all
06 E0B5433A E0DC75B8 NO 0 parport.write-all
05 E0AD712D 00000000 NO 0 scope.sample
04 E0B618C1 E0DC7448 YES 1 stepgen.capture-position
04 E0B612F5 E0DC7448 NO 1 stepgen.make-pulses
04 E0B614AD E0DC7448 YES 1 stepgen.update-freq
```

Ici, nous cherchons owner #08 et voyons que blocks a exporté une fonction nommée ddt.0. Nous devrions être en mesure d'ajouter ddt.0 au thread servo et il fera ses calculs chaque fois que le thread sera mis à jour. Encore une fois recherchons la commande addf et on voit qu'elle utilise trois arguments comme cela :

```
addf <functname> <threadname> [<position>]
```

Nous connaissons déjà functname=ddt.0, pour trouver le nom du thread, déployons l'arborescence des Threads. Nous y trouvons deux threads, servo-thread et base-thread. La position de ddt.0 dans le thread n'est pas critique. Passons la commande :

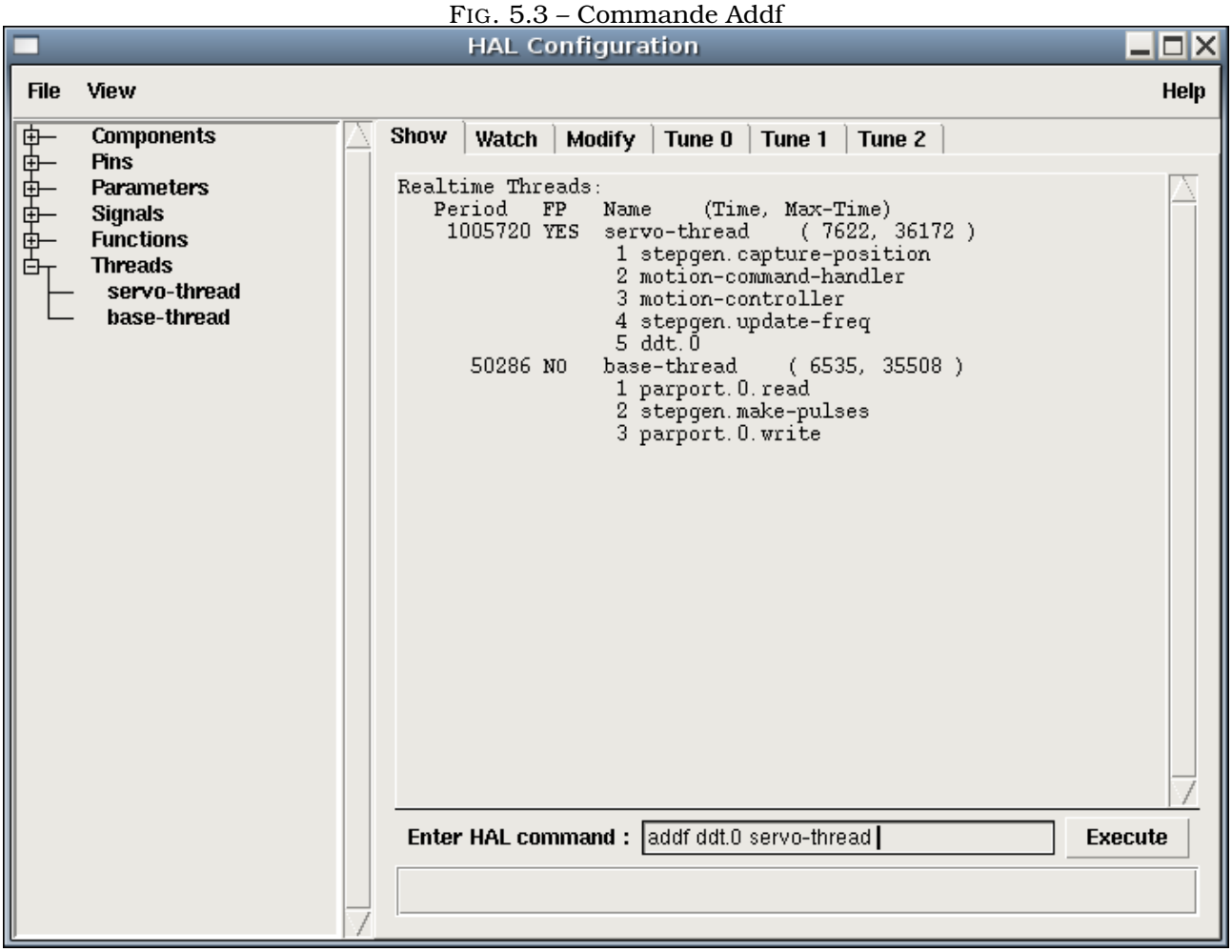
```
addf ddt.0 servo-thread
```

Comme c'est juste pour visualiser, nous laissons la position en blanc pour obtenir la dernière position dans le thread. La figure 5.3 montre l'état de halshow après que cette commande a été exécutée.

Ensuite, nous devons connecter ce block à quelque chose. Mais comment savoir quelles pins sont disponibles ? La réponse se trouve dans l'arbre, en regardant sous Pins. On y trouve ddt et on voit :

```
Component Pins :
Owner Type Dir Value Name
08 float R- 0.00000e+00 ddt.0.in
08 float -W 0.00000e+00 ddt.0.out
```

FIG. 5.3 – Commande Addf



Cela semble assez facile à comprendre, mais à quel signal ou pin voulons-nous nous connecter, ça pourrait être une pin d'axe, une pin de stepgen, ou un signal. On vois cela en regardant dans axis.0.

```
Component Pins :
Owner Type Dir Value Name
03 float -W 0.00000e+00 axis.0.motor-pos-cmd ==> Xpos-cmd
```

Donc, il semble que Xpos-cmd devrait être un bon signal à utiliser. Retour à l'éditeur et entrons la commande suivante :

```
linksp Xpos-cmd ddt.0.in
```

Maintenant si on regarde le signal Xpos-cmd dans l'arbre, on voit ce qu'on a fait.

```
Signals :
Type Value Name
float 0.00000e+00 Xpos-cmd
<== axis.0.motor-pos-cmd
==> ddt.0.in
==> stepgen.0.position-cmd
```

Nous voyons que ce signal provient de axis.0.motor-pos-cmd et va, à la fois, sur ddt.0.in et sur stepgen.0.position-cmd. En connectant notre block au signal nous avons évité les complications avec le flux normal de cette commande de mouvement.

La zone de l'onglet "Montrer" utilise halcmd pour découvrir ce qui se passe à l'intérieur de HAL pendant son fonctionnement. Il vous donne une information complète de ce qu'il découvre. Il met aussi à jour dès qu'une commande est envoyée depuis le petit éditeur pour modifier ce HAL. Il arrive un temps ou vous voulez autre chose d'affiché, sans la totalité des informations disponibles dans cette zone. C'est la grande valeur de l'onglet WATCH d'offrir cela.

5.4.3 Zone de l'onglet WATCH

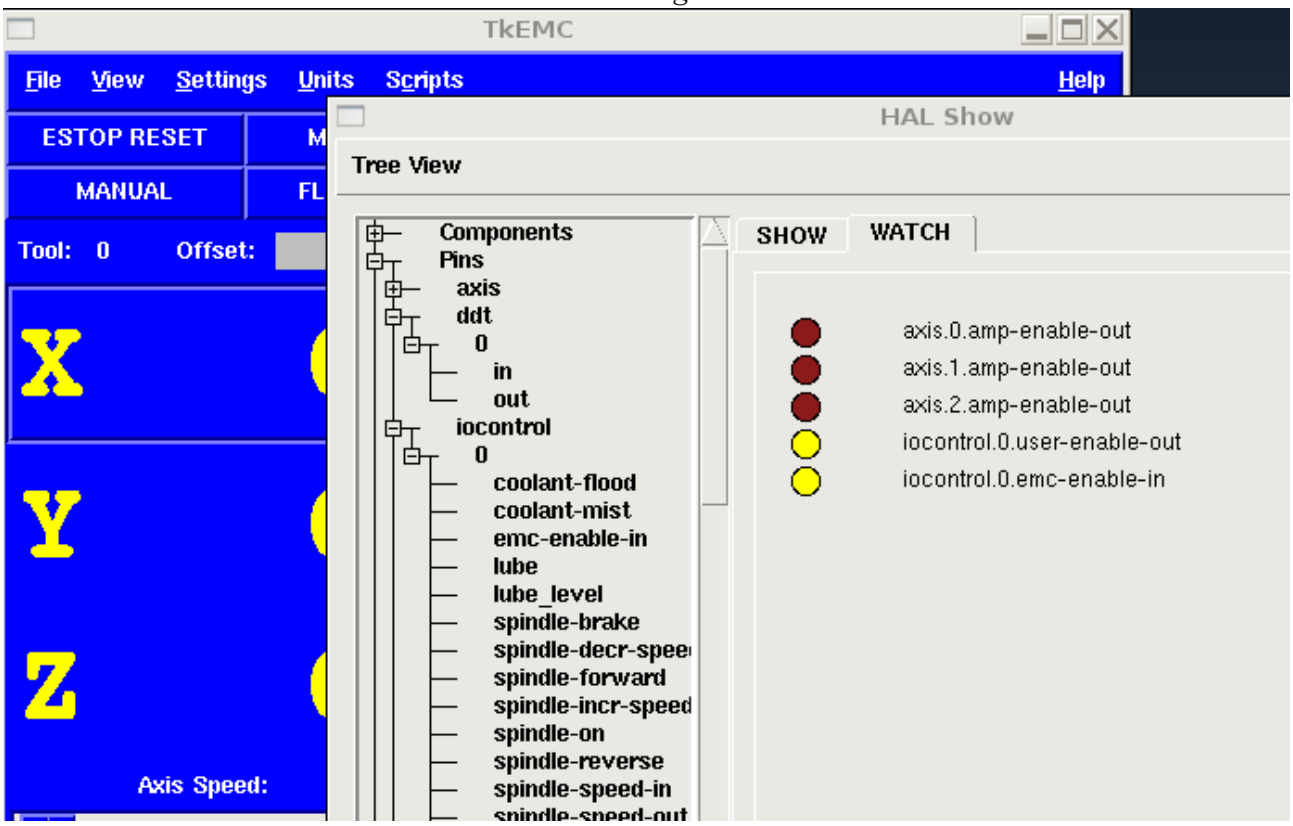
En cliquant sur l'onglet WATCH une zone vide s'affichera. Vous pouvez ajouter des signaux et des pins dans cette zone et visualiser leurs valeurs.[1] Vous pouvez ajouter des pins ou des signaux quand l'onglet Watch est ouvert, en cliquant sur leurs noms. La figure 5.4 Montre cette zone avec plusieurs signaux de type "bit". Parmis ces signaux, les enable-out pour les trois premiers axes et deux de la branche iocontrol, les signaux "estop". Notez que les axes ne sont pas activés même si les signaux estop disent qu'EMC n'est pas en estop. Un bref regard sur themc en arrière plan, montre que l'état d'EMC est ESTOP RESET. L'activation des amplis ne deviendra pas vraie tant que la machine ne sera pas mise en marche.

Les cercles de deux couleurs, simili leds, sont toujours bruns foncé quand un signal est faux. Elle sont jaunes quand le signal est vrai. Quand une pin ou un signal est sélectionné mais n'est pas de type bit, sa valeur numérique s'affiche.

Watch permet de visualiser rapidement le résultat de tests sur des contacts ou de voir l'effet d'un changement que vous faites dans EMC en utilisant l'interface graphique. Le taux de rafraîchissement de Watch est un peu trop lent pour visualiser les impulsions de pas d'un moteur mais vous pouvez l'utiliser si vous déplacez un axe très lentement ou par très petits incréments de distance. Si vous avez déjà utilisé IO_Show dans EMC, la page de Watch de halshow peut être réglée pour afficher ce que fait le port parallèle.

[1] Le taux de rafraîchissement de la zone Watch est plus lent que celui de Halmeter ou de Halscope. Si vous avez besoin d'une bonne résolution dans le timming des signaux, ces outils sont plus efficaces.

FIG. 5.4 – L'onglet Watch



Chapitre 6

Pilotes matériels

6.1 Parport

Parport est un pilote pour le port parallèle traditionnel des PC. Le port dispose d'un total de 17 broches physiques. Le port parallèle originel a divisé ces broches en trois groupes : données, contrôle et état. Le groupe "données" consiste en 8 broches de sortie, le groupe "contrôle" consiste en 4 broches et le groupe "état" consiste en 5 broches d'entrée.

Au début des années 1990, le port parallèle bidirectionnel est arrivé, ce qui permet à l'utilisateur d'ajuster le groupe des données comme étant des sorties ou comme étant des entrées. Le pilote de HAL supporte le port bidirectionnel et permet à l'utilisateur de configurer le groupe des données en entrée ou en sortie. Si il est configuré en sortie, un port fournit un total de 12 sorties et 5 entrées. Si il est configuré en entrée, il fournit 4 sorties et 13 entrées.

Dans certains ports parallèles, les broches du groupe contrôle sont des collecteurs ouverts, ils peuvent aussi être mis à l'état bas par une porte extérieure. Sur une carte avec les broches de contrôle en collecteur ouvert, le mode "x" de HAL permet un usage plus flexible avec 8 sorties dédiées, 5 entrées dédiées et 4 broches en collecteur ouvert. Dans d'autres ports parallèles, les broches du groupe contrôle sont en push-pull et ne peuvent pas être utilisées comme des entrées.[1]

Aucune autre combinaison n'est supportée. Un port ne peut plus être modifié pour passer d'entrées en sorties dès que le pilote est installé. La figure 6.1 montre deux diagrammes, un montre le pilote quand le groupe de données est configuré en sortie et le second le montre configuré en entrée.

Le pilote parport peut contrôler au maximum 8 ports (défini par MAX_PORTS dans le fichier hal_parport.c). Les ports sont numérotés à partir de zéro.

6.1.1 Installation

```
loadrt hal_parport cfg="<config-string>"
```

La chaine config-string représente l'adresse hexadécimale du port, suivie, optionnellement, par une direction, le tout répété pour chaque port. Les directions sont "in", "out", ou "x", elles déterminent la direction des broches physiques 2 à 9 et s'il y a lieu de créer des pins d'entrée de HAL pour les

[1] HAL ne peut pas déterminer automatiquement si les broches en mode bidirectionnel "x" sont effectivement en collecteur ouvert (OC). Si elles n'y sont pas, elles ne peuvent pas être utilisées comme des entrées. Essayer de les passer à l'état BAS par une source extérieure peut détériorer le matériel.

Pour déterminer si votre port a des broches de contrôle en "collecteur ouvert", charger hal_parport en mode "x", positionner les broches de contrôle à une valeur HAUTE. HAL doit lire des pins à l'état VRAI. Ensuite, insérer une résistance de 470Ω entre une des broches de contrôle et GND du port parallèle. Si la tension de cette broche de contrôle est maintenant proche de 0V et que HAL la lit comme une pin FAUSSE, alors vous avez un port OC. Si la tension résultante est loin de 0V ou que HAL ne la lit pas comme étant FAUSSE, votre port ne ne peut pas être utilisé en mode "x".

Le matériel extérieur qui pilote les broches de contrôle devrait également utiliser des portes en collecteur ouvert (ex : 74LS05...). Généralement, une pin de HAL -out devrait être VRAIE quand la pin physique est utilisée comme une entrée.

Sur certaines machines, les paramètres du BIOS peuvent affecter la possibilité d'utiliser le mode "x". Le mode "SPP" est le mode qui fonctionne le plus fréquemment.

broches de contrôle physiques. Si la direction n'est pas précisée, le groupe données sera par défault en sortie. Par exemple :

```
loadrt hal_parport cfg="0x278 0x378 in 0x20A0 out"
```

Cet exemple installe les pilotes pour un port 0x0278, avec les broches 2 à 9 en sorties (par défaut, puisque ni " in ", ni "out" n'est spécifié), un port 0x0378, avec les broches 2 à 9 en entrées et un port 0x20A0, avec les broches 2 à 9 explicitement spécifiées en sorties. Notez que vous devez connaître l'adresse de base des ports parallèles pour configurer correctement les pilotes. Pour les ports sur bus ISA, ce n'est généralement pas un problème, étant donné que les ports sont presque toujours à une adresse "bien connue", comme 0278 ou 0378 qui sont typiquement configurées dans le BIOS. Les adresses des cartes sur bus PCI sont habituellement trouvées avec "lspci -v" dans une ligne "I/O ports", ou dans un message du kernel après l'exécution de "`sudo modprobe -a parport_pc`". Il n'y a pas d'adresse par défaut, si `<config-string>` ne contient pas au moins une adresse, un message d'erreur s'affichera.

6.1.2 Pins

- `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-out` – Pilote une pin de sortie physique.
- `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-in` – Suit une pin d'entrée physique.
- `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-in-not` – Suit une pin d'entrée physique, mais inversée.

Pour chaque pin, `<portnum>` est le numéro du port et `<pinnum>` est le numéro de la broche physique du connecteur DB-25.

Pour chaque broche de sortie physique, le pilote crée une simple pin de HAL, par exemple `parport.0.pin-14-ou`
Les pins 2 jusqu'à 9 font partie du groupe donnée est sont des pins de sortie si le port est défini comme un port de sortie (par défaut en sortie). Les broches 1, 14, 16 et 17 sont des sorties dans tous les modes. Ces pin de HAL contrôlent l'état des pins physiques correspondantes.

Pour chaque pin d'entrée physique, le pilote crée deux pins de HAL, par exemple `parport.0.pin-12-in` et `parport.0.pin-12-in-not`. Les pins 10, 11, 12, 13 et 15 sont toujours des sorties. Les pins 2 jusqu'à 9 sont des pins d'entrée seulement si le port est défini comme un port d'entrée. Une pin de HAL `-in` est VRAIE si la pin physique est haute et FAUSSE si la pin physique est basse. Une pin de HAL `-in-not` est invertsée, elle est FAUSSE si la pin physique est haute. En connectant un signal à l'une ou l'autre, l'utilisateur peut décider de l'état de l'entrée. En mode "x", les pins 1, 14, 16 et 17 sont également des pins d'entrée.

6.1.3 Paramètres

- `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-out-invert` – Inverse une pin de sortie.
- `(BIT) parport.<portnum>.pin-<pinnum>-out-reset` (seulement les pins 2..9) – VRAIE si cette pin doit être réinitialisée quand la fonction de réinitialisation est exécutée.
- `(U32) parport.<portnum>.reset-time` – Le temps (en nanosecondes) entre le moment ou la broche est écrite et le moment ou elle est réititialisée par les fonctions de réinitialisation de HAL.

Le paramètre `-invert` détermine si une pin de sortie est active haute ou active basse. Si `-invert` est FAUX, mettre la pin HAL `-out` VRAIE placera la pin physique à l'état haut et mettre la pin HAL FAUSSE placera la pin physique à l'état bas. Si `-invert` est VRAI, mettre la pin HAL `-out` VRAIE va mettre la pin physique à l'état bas.

Si `-reset` est VRAI, la fonction de réinitialisation va passer la pin à la valeur de `-out-invert`. Ceci peut être utilisé en conjonction avec "stepgen `doublefreq`" pour produire un pas par période.

6.1.4 Fonctions

- `(FUNCT) parport.<portnum>.read` – Lit les pins physiques du port `<portnum>` et met à jour les pins de HAL `-in` et `-in-not`.

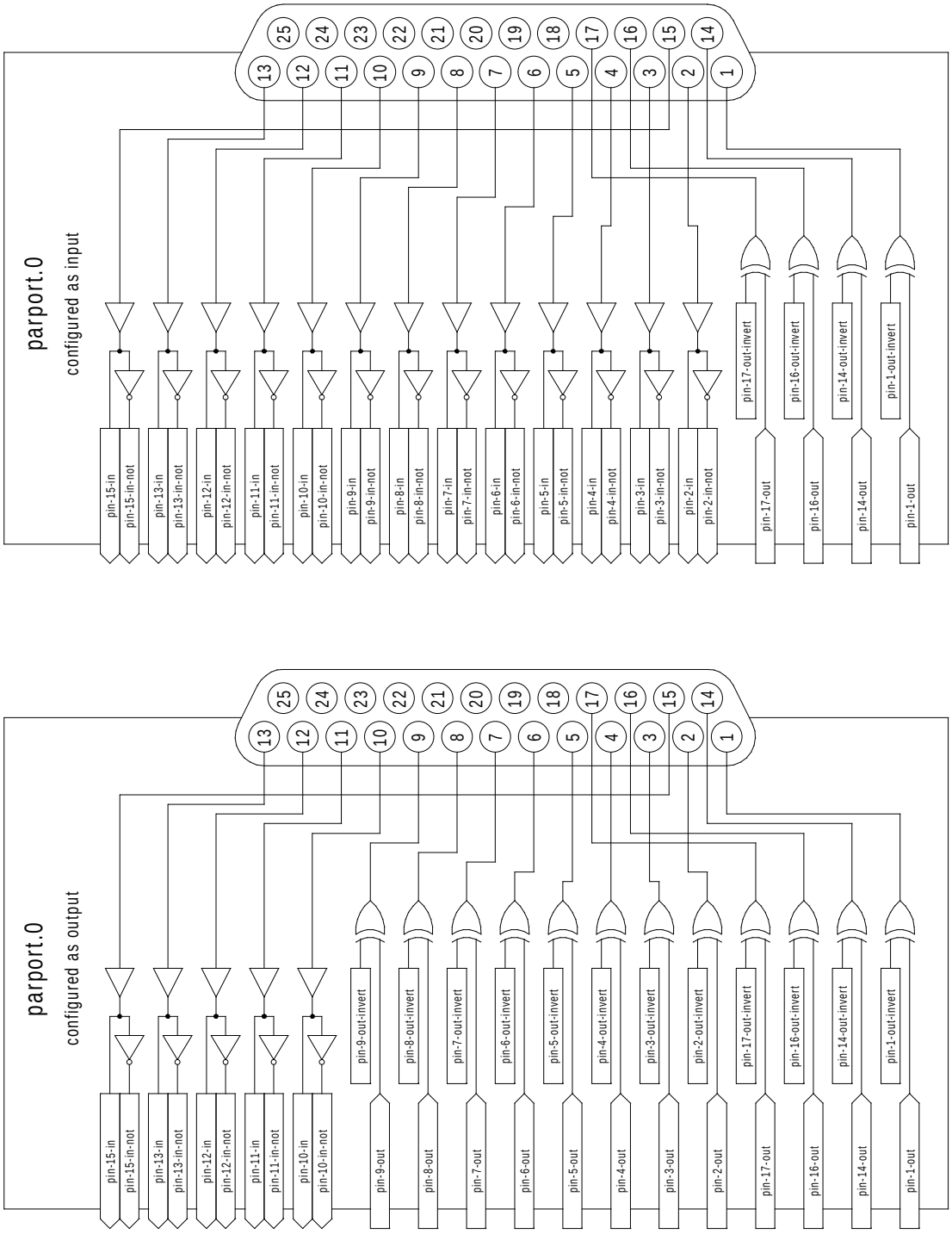


FIG. 6.1 – Diagrammes blocs de Parport

– (FUNCT) parport.read-all – Lit les pins physiques de tous les ports et met à jour les pins de HAL -in et -in-not.
– (FUNCT) parport.<portnum>.write – Lit les pins de HAL -out du port <portnum> et met à jour les pins de sortie physiques correspondantes.
– (FUNCT) parport.write-all – Lit les pins de HAL -out de tous les ports et met à jour toutes les pins de sortie physiques.
– (FUNCT) parport.<portnum>.reset – Attends que le délai de mise à jour soit écoulé depuis le dernière écriture, remet à jour les pins aux valeurs indiquées par -out-invert et les paramètres de -out-invert. La réinitialisation doit être plus tard dans le même thread que l'écriture.

Les différentes fonctions sont prévues pour les situations où un port doit être mis à jour dans un thread très rapide, mais d'autres ports peuvent être mis à jour dans un thread plus lent pour gagner du temps CPU. Ce n'est probablement pas une bonne idée d'utiliser en même temps, les fonctions -all et une fonction individuelle.

6.1.5 Problèmes courants

Si le chargement du module le message suivant :

```
insmod : error inserting '/home/jepler/emc2/rtlib/hal_parport.ko' :
-1 Device or resource busy
```

s'assurer que le noyau du kernel standard, parport_pc, n'est pas chargé[2] et qu'aucun périphérique dans le système ne revendique les ports concernés.

SI le module est chargé mais ne semble pas fonctionner, l'adresse du port est incorrecte ou le module probe_parport est requis.

6.2 probe_parport

Dans les PC récents, le port parallèle peut exiger une configuration plug and play (PNP) avant d'être utilisable. Le module probe_parport effectue la configuration de tous les ports PNP présents et devrait être chargé avant hal_parport. Sur les machines sans ports PNP, il peut être chargé mais n'a aucun effet.

6.2.1 Installation

```
loadrt probe_parport
loadrt hal_parport ...
```

Si le kernel Linux affiche un message similaire à :

```
parport : PnPBIOS parport detected.
```

quand le module parport_pc est chargé, avec la commande : sudo modprobe -a parport_pc; sudo rmmod parport_pc, l'utilisation de ce module sera probablement nécessaire.

.

Les modules commerciaux ci-dessous pouront êtres traduits en français sur demande.

The commercial modules below could be translated into French on request.

.

[2] In the emc packages for Ubuntu, the file /etc/modprobe.d/emc2 generally prevents parport_pc from being automatically loaded.

6.3 AX5214H

The Axiom Measurement & Control AX5214H is a 48 channel digital I/O board. It plugs into an ISA bus, and resembles a pair of 8255 chips.[3]

6.3.1 Installing

```
loadrt hal_ax5214h cfg="<config-string>"
```

The config string consists of a hex port address, followed by an 8 character string of "I" and "O" which sets groups of pins as inputs and outputs. The first two character set the direction of the first two 8 bit blocks of pins (0-7 and 8-15). The next two set blocks of 4 pins (16-19 and 20-23). The pattern then repeats, two more blocks of 8 bits (24-31 and 32-39) and two blocks of 4 bits (40-43 and 44-47). If more than one board is installed, the data for the second board follows the first. As an example, the string **"0x220 IIIOIIOO 0x300 OIOOIOIO"** installs drivers for two boards. The first board is at address 0x220, and has 36 inputs (0-19 and 24-39) and 12 outputs (20-23 and 40-47). The second board is at address 0x300, and has 20 inputs (8-15, 24-31, and 40-43) and 28 outputs (0-7. 16-23, 32-39, and 44-47). Up to 8 boards may be used in one system.

6.3.2 Pins

- (BIT) ax5214.<boardnum>.out-<pinnum> – Drives a physical output pin.
- (BIT) ax5214.<boardnum>.in-<pinnum> – Tracks a physical input pin.
- (BIT) ax5214.<boardnum>.in-<pinnum>-not – Tracks a physical input pin, inverted.

For each pin, <boardnum> is the board number (starts at zero), and <pinnum> is the I/O channel number (0 to 47).

Note that the driver assumes active LOW signals. This is so that modules such as OPTO-22 will work correctly (TRUE means output ON, or input energized). If the signals are being used directly without buffering or isolation the inversion needs to be accounted for. The in- HAL pin is TRUE if the physical pin is low (OPTO-22 module energized), and FALSE if the physical pin is high (OPTO-22 module off). The in-<pinnum>-not HAL pin is inverted – it is FALSE if the physical pin is low (OPTO-22 module energized). By connecting a signal to one or the other, the user can determine the state of the input.

6.3.3 Parameters

- (BIT) ax5214.<boardnum>.out-<pinnum>-invert – Inverts an output pin.

The -invert parameter determines whether an output pin is active high or active low. If -invert is FALSE, setting the HAL out- pin TRUE drives the physical pin low, turning ON an attached OPTO-22 module, and FALSE drives it high, turning OFF the OPTO-22 module. If -invert is TRUE, then setting the HAL out- pin TRUE will drive the physical pin high and turn the module OFF.

6.3.4 Functions

- (FUNCT) ax5214.<boardnum>.read – Reads all digital inputs on one board.
- (FUNCT) ax5214.<boardnum>.write – Writes all digital outputs on one board.

6.4 Servo-To-Go

The Servo-To-Go is one of the first PC motion control cards[4] supported by EMC. It is an ISA card and it exists in different flavours (all supported by this driver). The board includes up to 8 channels

[3] In fact it may be a pair of 8255 chips, but I'm not sure. If/when someone starts a driver for an 8255 they should look at the ax5214 code, much of the work is already done.

[4] a motion control card usually is a board containing devices to control one or more axes (the control devices are usually DAC's to set an analog voltage, encoder counting chips for feedback, etc.)

of quadrature encoder input, 8 channels of analog input and output, 32 bits digital I/O, an interval timer with interrupt and a watchdog.

6.4.1 Installing :

```
loadrt hal_stg [base=<address>] [num_chan=<nr>] [dio="<dio-string>"] [model=<model>]
```

The base address field is optional ; if it's not provided the driver attempts to autodetect the board. The num_chan field is used to specify the number of channels available on the card, if not used the 8 axis version is assumed. The digital inputs/outputs configuration is determined by a config string passed to insmod when loading the module. The format consists of a four character string that sets the direction of each group of pins. Each character of the direction string is either "I" or "O". The first character sets the direction of port A (Port A - DIO.0-7), the next sets port B (Port B - DIO.8-15), the next sets port C (Port C - DIO.16-23), and the fourth sets port D (Port D - DIO.24-31). The model field can be used in case the driver doesn't autodetect the right card version[5]. For example :

```
loadrt hal_stg base=0x300 num_chan=4 dio="IOIO"
```

This example installs the stg driver for a card found at the base address of 0x300, 4 channels of encoder feedback, DAC's and ADC's, along with 32 bits of I/O configured like this : the first 8 (Port A) configured as Input, the next 8 (Port B) configured as Output, the next 8 (Port C) configured as Input, and the last 8 (Port D) configured as Output

```
loadrt hal_stg
```

This example installs the driver and attempts to autodetect the board address and board model, it installs 8 axes by default along with a standard I/O setup : Port A & B configured as Input, Port C & D configured as Output.

6.4.2 Pins

- (s32) stg.<channel>.counts – Tracks the counted encoder ticks.
- (FLOAT) stg.<channel>.position – Outputs a converted position.
- (FLOAT) stg.<channel>.dac-value – Drives the voltage for the corresponding DAC.
- (FLOAT) stg.<channel>.adc-value – Tracks the measured voltage from the corresponding ADC.
- (BIT) stg.in-<pinnum> – Tracks a physical input pin.
- (BIT) stg.in-<pinnum>-not – Tracks a physical input pin, but inverted.
- (BIT) stg.out-<pinnum> – Drives a physical output pin

For each pin, <channel> is the axis number, and <pinnum> is the logic pin number of the STG[6].

The in- HAL pin is TRUE if the physical pin is high, and FALSE if the physical pin is low. The in-<pinnum>-not HAL pin is inverted – it is FALSE if the physical pin is high. By connecting a signal to one or the other, the user can determine the state of the input.

6.4.3 Parameters

- (FLOAT) stg.<channel>.position-scale – The number of counts / user unit (to convert from counts to units).
- (FLOAT) stg.<channel>.dac-offset – Sets the offset for the corresponding DAC.
- (FLOAT) stg.<channel>.dac-gain – Sets the gain of the corresponding DAC.
- (FLOAT) stg.<channel>.adc-offset – Sets the offset of the corresponding ADC.
- (FLOAT) stg.<channel>.adc-gain – Sets the gain of the corresponding ADC.

[5] hint : after starting up the driver, 'dmesg' can be consulted for messages relevant to the driver (e.g. autodetected version number and base address)

[6] if IIOO is defined, there are 16 input pins (in-00 .. in-15) and 16 output pins (out-00 .. out-15), and they correspond to PORTs ABCD (in-00 is PORTA.0, out-15 is PORTD.7)

– (BIT) stg.out-<pinnum>-invert – Inverts an output pin.

The -invert parameter determines whether an output pin is active high or active low. If -invert is FALSE, setting the HAL out- pin TRUE drives the physical pin high, and FALSE drives it low. If -invert is TRUE, then setting the HAL out- pin TRUE will drive the physical pin low.

6.4.4 Functions

– (FUNCT) stg.capture-position – Reads the encoder counters from the axis <channel>.
– (FUNCT) stg.write-dacs – Writes the voltages to the DACs.
– (FUNCT) stg.read-adcs – Reads the voltages from the ADCs.
– (FUNCT) stg.di-read – Reads physical in- pins of all ports and updates all HAL in- and in-<pinnum>-not pins.
– (FUNCT) stg.do-write – Reads all HAL out- pins and updates all physical output pins.

6.5 Mesa Electronics m5i20 “Anything I/O Card”

The Mesa Electronics m5i20 card consists of an FPGA that can be loaded with a wide variety of configurations, and has 72 pins that leave the PC. The assignment of the pins depends on the FPGA configuration. Currently there is a HAL driver for the “4 axis host based motion control” configuration, and this FPGA configurations is also provided with EMC2. It provides 8 encoder counters, 4 PWM outputs (normally used as DACs) and up to 48 digital I/O channels, 32 inputs and 16 outputs.[7]

Installing :

```
loadrt hal_m5i20 [loadFpga=1|0] [dacRate=<rate>]
```

If **loadFpga** is 1 (the default) the driver will load the FPGA configuration on startup. If it is 0, the driver assumes the configuration is already loaded. **dacRate** sets the carrier frequency for the PWM outputs, in Hz. The default is 32000, for 32KHz PWM. Valid values are from 1 to 32226. The driver prints some useful debugging message to the kernel log, which can be viewed with **dmesg**.

Up to 4 boards may be used in one system.

6.5.1 Pins

In the following pins, parameters, and functions, <board> is the board ID. According to the naming conventions the first board should always have an ID of zero, however this driver uses the PCI board ID, so it may be non-zero even if there is only one board.

– (S32) m5i20.<board>.enc-<channel>-count – Encoder position, in counts.
– (FLOAT) m5i20.<board>.enc-<channel>-position – Encoder position, in user units.
– (BIT) m5i20.<board>.enc-<channel>-index – Current status of index pulse input?
– (BIT) m5i20.<board>.enc-<channel>-index-enable – when TRUE, and an index pulse appears on the encoder input, reset counter to zero and clear index-enable.
– (BIT) m5i20.<board>.enc-<channel>-reset – When true, counter is forced to zero.
– (BIT) m5i20.<board>.dac-<channel>-enable – Enables DAC if true. DAC outputs zero volts if false?
– (FLOAT) m5i20.<board>.dac-<channel>-value – Analog output value for PWM “DAC” (in user units, see -scale and -offset)
– (BIT) m5i20.<board>.in-<channel> – State of digital input pin, see canonical digital input.
– (BIT) m5i20.<board>.in-<channel>-not – Inverted state of digital input pin, see canonical digital input.
– (BIT) m5i20.<board>.out-<channel> – Value to be written to digital output, see canonical digital output.

[7] Ideally the encoders, “DACs”, and digital I/O would comply with the canonical interfaces defined earlier, but they don't. Fixing that is on the things-to-do list.

– (BIT) m5i20.<board>.estop-in – Dedicated estop input, more details needed.
– (BIT) m5i20.<board>.estop-in-not – Inverted state of dedicated estop input.
– (BIT) m5i20.<board>.watchdog-reset – Bidirectional, - Set TRUE to reset watchdog once, is automatically cleared. If bit value 16 is set in watchdog-control then this value is not used, and the hardware watchdog is cleared every time the dac-write function is executed.

6.5.2 Parameters

– (FLOAT) m5i20.<board>.enc-<channel>-scale – The number of counts / user unit (to convert from counts to units).
– (FLOAT) m5i20.<board>.dac-<channel>-offset – Sets the DAC offset.
– (FLOAT) m5i20.<board>.dac-<channel>-gain – Sets the DAC gain (scaling).
– (BIT) m5i20.<board>.dac-<channel>-interlaced – Sets the DAC to interlaced mode. Use this mode if you are filtering the PWM to generate an anaolg voltage.[8]
– (BIT) m5i20.<board>.out-<channel>-invert – Inverts a digital output, see canonical digital output.
– (U32) m5i20.<board>.watchdog-control – Configures the watchdog. The value may be a bitwise OR of the following values :

Bit #	Value	Meaning
0	1	Watchdog is enabled
1	2	Watchdog is automatically reset by DAC writes (the HAL dac-write function)

Typically, the useful values are 0 (watchdog disabled) or 3 (watchdog enabled, cleared by dac-write).
– (U32) m5i20.<board>.led-view – Maps some of the I/O to onboard LEDs. See table below.

6.5.3 Functions

– (FUNCT) m5i20.<board>.encoder-read – Reads all encoder counters.
– (FUNCT) m5i20.<board>.digital-in-read – Reads digital inputs.
– (FUNCT) m5i20.<board>.dac-write – Writes the voltages (PWM duty cycles) to the “DACs”.
– (FUNCT) m5i20.<board>.digital-out-write – Writes digital outputs.
– (FUNCT) m5i20.<board>.misc-update – Writes watchdog timer configuration to hardware. Resets watchdog timer. Updates E-stop pin (more info needed). Updates onboard LEDs.

6.5.4 Connector pinout

The Hostmot-4 FPGA configuration has the following pinout. There are three 50-pin ribbon cable connectors on the card : P2, P3, and P4. There are also 8 status LEDs.

[8] With normal 10 bit PWM, 50% duty cycle would be 512 cycles on and 512 cycles off = ca 30 kHz with 33 MHz reference counter. With fully interleaved PWM this would be 1 cycle on, 1 cycle off for 1024 cycles (16.66 MHz if the PWM reference counter runs at 33 MHz) = much easier to filter. The 5I20 configuration interlace is somewhat between non and fully interlaced (to make it easy to filter but not have as many transistions as fully interleaved).

6.5.4.1 Connector P2

m5i20 card connector P2	Function/HAL-pin
1	enc-01 A input
3	enc-01 B input
5	enc-00 A input
7	enc-00 B input
9	enc-01 index input
11	enc-00 index input
13	dac-01 output
15	dac-00 output
17	DIR output for dac-01
19	DIR output for dac-00
21	dac-01-enable output
23	dac-00-enable output
25	enc-03 B input
27	enc-03 A input
29	enc-02 B input
31	enc-02 A input
33	enc-03 index input
35	enc-02 index input
37	dac-03 output
39	dac-02 output
41	DIR output for dac-03
43	DIR output for dac-02
45	dac-03-enable output
47	dac-02-enable output
49	Power +5 V (or +3.3V ?)
all even pins	Ground

6.5.4.2 Connector P3

Encoder counters 4 - 7 work simultaneously with in-00 to in-11.

If you are using in-00 to in-11 as general purpose IO then reading enc-<4-7> will produce some random junk number.

m5i20 card connector P3	Function/HAL-pin	Secondary Function/HAL-pin
1	in-00	enc-04 A input
3	in-01	enc-04 B input
5	in-02	enc-04 index input
7	in-03	enc-05 A input
9	in-04	enc-05 B input
11	in-05	enc-05 index input
13	in-06	enc-06 A input
15	in-07	enc-06 B input
17	in-08	enc-06 index input
19	in-09	enc-07 A input
21	in-10	enc-07 B input
23	in-11	enc-07 index input
25	in-12	
27	in-13	
29	in-14	
31	in-15	
33	out-00	
35	out-01	
37	out-02	
39	out-03	
41	out-04	
43	out-05	
45	out-06	
47	out-07	
49	Power +5 V (or +3.3V?)	
all even pins	Ground	

6.5.4.3 Connector P4

The index mask masks the index input of the encoder so that the encoder index can be combined with a mechanical switch or opto detector to clear or latch the encoder counter only when the mask input bit is in proper state (selected by mask polarity bit) and encoder index occurs. This is useful for homing. The behaviour of these pins is controlled by the Counter Control Register (CCR), however there is currently no function in the driver to change the CCR. See REGMAP4[9] for a description of the CCR.

[9] emc2/src/hal/drivers/m5i20/REGMAP4E

m5i20 card connector P4	Function/HAL-pin	Secondary Function/HAL-pin
1	in-16	enc-00 index mask
3	in-17	enc-01 index mask
5	in-18	enc-02 index mask
7	in-19	enc-03 index mask
9	in-20	
11	in-21	
13	in-22	
15	in-23	
17	in-24	enc-04 index mask
19	in-25	enc-05 index mask
21	in-26	enc-06 index mask
23	in-27	enc-07 index mask
25	in-28	
27	in-29	
29	in-30	
31	in-31	
33	out-08	
35	out-09	
37	out-10	
39	out-11	
41	out-12	
43	out-13	
45	out-14	
47	out-15	
49	Power +5 V (or +3.3V?)	
all even pins	Ground	

6.5.4.4 LEDs

The status LEDs will monitor one motion channel set by the `m5i20.<board>.led-view` parameter. A call to `m5i20.<board>.misc-update` is required to update the viewed channel.

LED name	Output
LED0	IRQLatch?
LED1	enc-<channel> A
LED2	enc-<channel> B
LED3	enc-<channel> index
LED4	dac-<channel> DIR
LED5	dac-<channel>
LED6	dac-<channel>-enable
LED7	watchdog timeout?

6.6 Vital Systems Motenc-100 and Motenc-LITE

The Vital Systems Motenc-100 and Motenc-LITE are 8- and 4-channel servo control boards. The Motenc-100 provides 8 quadrature encoder counters, 8 analog inputs, 8 analog outputs, 64 (68?) digital inputs, and 32 digital outputs. The Motenc-LITE has only 4 encoder counters, 32 digital inputs and 16 digital outputs, but it still has 8 analog inputs and 8 analog outputs. The driver automatically identifies the installed board and exports the appropriate HAL objects.[10]

Installing :

[10] Ideally the encoders, DACs, ADCs, and digital I/O would comply with the canonical interfaces defined earlier, but they don't. Fixing that is on the things-to-do list.

```
loadrt hal_motenc
```

During loading (or attempted loading) the driver prints some usefull debugging message to the kernel log, which can be viewed with **dmesg**.

Up to 4 boards may be used in one system.

6.6.1 Pins

In the following pins, parameters, and functions, <board> is the board ID. According to the naming conventions the first board should always have an ID of zero. However this driver sets the ID based on a pair of jumpers on the baord, so it may be non-zero even if there is only one board.

- (S32) motenc.<board>.enc-<channel>-count – Encoder position, in counts.
- (FLOAT) motenc.<board>.enc-<channel>-position – Encoder position, in user units.
- (BIT) motenc.<board>.enc-<channel>-index – Current status of index pulse input.
- (BIT) motenc.<board>.enc-<channel>-idx-latch – Driver sets this pin true when it latches an index pulse (enabled by latch-index). Cleared by clearing latch-index.
- (BIT) motenc.<board>.enc-<channel>-latch-index – If this pin is true, the driver will reset the counter on the next index pulse.
- (BIT) motenc.<board>.enc-<channel>-reset-count – If this pin is true, the counter will immediately be reset to zero, and the pin will be cleared.
- (FLOAT) motenc.<board>.dac-<channel>-value – Analog output value for DAC (in user units, see -gain and -offset)
- (FLOAT) motenc.<board>.adc-<channel>-value – Analog input value read by ADC (in user units, see -gain and -offset)
- (BIT) motenc.<board>.in-<channel> – State of digital input pin, see canonical digital input.
- (BIT) motenc.<board>.in-<channel>-not – Inverted state of digital input pin, see canonical digital input.
- (BIT) motenc.<board>.out-<channel> – Value to be written to digital output, seen canonical digital output.
- (BIT) motenc.<board>.estop-in – Dedicated estop input, more details needed.
- (BIT) motenc.<board>.estop-in-not – Inverted state of dedicated estop input.
- (BIT) motenc.<board>.watchdog-reset – Bidirectional, - Set TRUE to reset watchdog once, is automatically cleared.

6.6.2 Parameters

- (FLOAT) motenc.<board>.enc-<channel>-scale – The number of counts / user unit (to convert from counts to units).
- (FLOAT) motenc.<board>.dac-<channel>-offset – Sets the DAC offset.
- (FLOAT) motenc.<board>.dac-<channel>-gain – Sets the DAC gain (scaling).
- (FLOAT) motenc.<board>.adc-<channel>-offset – Sets the ADC offset.
- (FLOAT) motenc.<board>.adc-<channel>-gain – Sets the ADC gain (scaling).
- (BIT) motenc.<board>.out-<channel>-invert – Inverts a digital output, see canonical digital output.
- (U32) motenc.<board>.watchdog-control – Configures the watchdog. The value may be a bitwise OR of the following values :

Bit #	Value	Meaning
0	1	Timeout is 16ms if set, 8ms if unset
2	4	Watchdog is enabled
4	16	Watchdog is automatically reset by DAC writes (the HAL dac-write function)

Typically, the useful values are 0 (watchdog disabled) or 20 (8ms watchdog enabled, cleared by dac-write).

- (U32) motenc.<board>.led-view – Maps some of the I/O to onboard LEDs ?

6.6.3 Functions

- (FUNCT) motenc.<board>.encoder-read – Reads all encoder counters.
- (FUNCT) motenc.<board>.adc-read – Reads the analog-to-digital converters.
- (FUNCT) motenc.<board>.digital-in-read – Reads digital inputs.
- (FUNCT) motenc.<board>.dac-write – Writes the voltages to the DACs.
- (FUNCT) motenc.<board>.digital-out-write – Writes digital outputs.
- (FUNCT) motenc.<board>.misc-update – Updates misc stuff.

6.7 Pico Systems PPMC (Parallel Port Motion Control)

Pico Systems has a family of boards for doing servo, stepper, and pwm control. The boards connect to the PC through a parallel port working in EPP mode. Although most users connect one board to a parallel port, in theory any mix of up to 8 or 16 boards can be used on a single parport. One driver serves all types of boards. The final mix of I/O depends on the connected board(s). The driver doesn't distinguish between boards, it simply numbers I/O channels (encoders, etc) starting from 0 on the first card.

Installing :

```
loadrt hal_ppmc port_addr=<addr1>[,<addr2>[,<addr3>...]]
```

The **port_addr** parameter tells the driver what parallel port(s) to check. By default, **<addr1>** is 0x0378, and **<addr2>** and following are not used. The driver searches the entire address space of the enhanced parallel port(s) at **port_addr**, looking for any board(s) in the PPMC family. It then exports HAL pins for whatever it finds. During loading (or attempted loading) the driver prints some usefull debugging message to the kernel log, which can be viewed with **dmesg**.

Up to 3 parport busses may be used, and each bus may have up to 8 devices on it.

6.7.1 Pins

In the following pins, parameters, and functions, <board> is the board ID. According to the naming conventions the first board should always have an ID of zero. However this driver sets the ID based on a pair of jumpers on the baord, so it may be non-zero even if there is only one board.

- (S32) ppmc.<port>.encoder.<channel>.count – Encoder position, in counts.
- (S32) ppmc.<port>.encoder.<channel>.delta – Change in counts since last read.
- (FLOAT) ppmc.<port>.encoder.<channel>.position – Encoder position, in user units.
- (BIT) ppmc.<port>.encoder.<channel>.index – Something to do with index pulse.[11]
- (BIT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.enable – Enables a PWM generator.
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.value – Value which determines the duty cycle of the PWM waveforms. The value is divided by pwm.<channel>.scale, and if the result is 0.6 the duty cycle will be 60%, and so on. Negative values result in the duty cycle being based on the absolute value, and the direction pin is set to indicate negative.
- (BIT) ppmc.<port>.stepgen.<channel>.enable – Enables a step pulse generator.
- (FLOAT) ppmc.<port>.stepgen.<channel>.velocity – Value which determines the step frequency. The value is multiplied by stepgen.<channel>.scale, and the result is the frequency in steps per second. Negative values result in the frequency being based on the absolute value, and the direction pin is set to indicate negative.
- (BIT) ppmc.<port>.in-<channel> – State of digital input pin, see canonical digital input.
- (BIT) ppmc.<port>.in.<channel>.not – Inverted state of digital input pin, see canonical digital input.
- (BIT) ppmc.<port>.out-<channel> – Value to be written to digital output, seen canonical digital output.

[11] Index handling does _not_ comply with the canonical encoder interface, and should be changed.

6.7.2 Parameters

- (FLOAT) ppmc.<port>.enc.<channel>.scale – The number of counts / user unit (to convert from counts to units).
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel-range>.freq – The PWM carrier frequency, in Hz. Applies to a group of four consecutive PWM generators, as indicated by <channel-range>. Minimum is 153Hz, maximum is 500KHz.
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.scale – Scaling for PWM generator. If scale is X, then the duty cycle will be 100% when the value pin is X (or -X).
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.max-dc – Maximum duty cycle, from 0.0 to 1.0.
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.min-dc – Minimum duty cycle, from 0.0 to 1.0.
- (FLOAT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.duty-cycle – Actual duty cycle (used mostly for troubleshooting.)
- (BIT) ppmc.<port>.pwm.<channel>.bootstrap – If true, the PWM generator will generate a short sequence of pulses of both polarities when it is enabled, to charge the bootstrap capacators used on some MOSFET gate drivers.
- (U32) ppmc.<port>.stepgen.<channel-range>.setup-time – Sets minimum time between direction change and step pulse, in units of 100nS. Applies to a group fof four consecutive PWM generators, as indicated by <channel-range>.
- (U32) ppmc.<port>.stepgen.<channel-range>.pulse-width – Sets width of step pulses, in units of 100nS. Applies to a group fof four consecutive PWM generators, as indicated by <channel-range>.
- (U32) ppmc.<port>.stepgen.<channel-range>.pulse-space-min – Sets minimum time between pulses, in units of 100nS. The maximum step rate is 1/(100nS * (pulse-width + pulse-space-min)). Applies to a group fof four consecutive PWM generators, as indicated by <channel-range>.
- (FLOAT) ppmc.<port>.stepgen.<channel>.scale – Scaling for step pulse generator. The step frequency in Hz is the absolute value of velocity * scale.
- (FLOAT) ppmc.<port>.stepgen.<channel>.max-vel – The maximum value for velocity. Commands greater than max-vel will be clamped. Also applies to negative values. (The absolute value is clamped.)
- (FLOAT) ppmc.<port>.stepgen.<channel>.frequency – Actual step pulse frequency in Hz (used mostly for troubleshooting.)
- (BIT) ppmc.<port>.out.<channel>.invert – Inverts a digital output, see canonical digital output.

6.7.3 Functions

- (FUNCT) ppmc.<port>.read – Reads all inputs (digital inputs and encoder counters) on one port.
- (FUNCT) ppmc.<port>.write – Writes all outputs (digital outputs, stepgens, PWMs) on one port.

6.8 Pluto-P : generalities

The Pluto-P is an inexpensive ($60) FPGA board featuring the ACEX1K chip from Altera.

6.8.1 Requirements

1. A Pluto-P board
2. An EPP-compatible parallel port, configured for EPP mode in the system BIOS

6.8.2 Connectors

- The Pluto-P board is shipped with the left connector presoldered, with the key in the indicated position. The other connectors are unpopulated. There does not seem to be a standard 12-pin IDC connector, but some of the pins of a 16P connector can hang off the board next to QA3/QZ3.

– The bottom and right connectors are on the same .1" grid, but the left connector is not. If OUT2. . . OUT9 are not required, a single IDC connector can span the bottom connector and the bottom two rows of the right connector.

6.8.3 Physical Pins

– Read the ACEX1K datasheet for information about input and output voltage thresholds. The pins are all configured in "LVTTL/LVCMOS" mode and are generally compatible with 5V TTL logic.
– Before configuration and after properly exiting emc2, all Pluto-P pins are tristated with weak pull-ups (20kΩ min, 50kΩ max). If the watchdog timer is enabled (the default), these pins are also tristated after an interruption of communication between emc2 and the board. The watchdog timer takes approximately 6.5ms to activate. However, software bugs in the pluto_servo firmware or emc2 can leave the Pluto-P pins in an undefined state.
– In pwm+dir mode, by default dir is HIGH for negative values and LOW for positive values. To select HIGH for positive values and LOW for negative values, set the corresponding dout-NN-invert parameter TRUE to invert the signal.
– The index input is triggered on the rising edge. Initial testing has shown that the QZx inputs are particularly noise sensitive, due to being polled every 25ns. Digital filtering has been added to filter pulses shorter than 175ns (seven polling times). Additional external filtering on all input pins, such as a Schmitt buffer or inverter, RC filter, or differential receiver (if applicable) is recommended.
– The IN1. . . IN7 pins have 22-ohm series resistors to their associated FPGA pins. No other pins have any sort of protection for out-of-spec voltages or currents. It is up to the integrator to add appropriate isolation and protection. Traditional parallel port optoisolator boards do not work with pluto_servo due to the bidirectional nature of the EPP protocol.

6.8.4 LED

– When the device is unprogrammed, the LED glows faintly. When the device is programmed, the LED glows according to the duty cycle of PWM0 (**LED** = **UP0** *xor* **DOWN0**) or STEPGEN0 (**LED** = **STEP0** *xor* **DIR0**).

6.8.5 Power

– A small amount of current may be drawn from VCC. The available current depends on the unregulated DC input to the board. Alternately, regulated +3.3VDC may be supplied to the FPGA through these VCC pins. The required current is not yet known, but is probably around 50mA plus I/O current.
– The regulator on the Pluto-P board is a low-dropout type. Supplying 5V at the power jack will allow the regulator to work properly.

6.8.6 PC interface

– At present, only a single pluto_servo or pluto_step board is supported. At present there is no provision for multiple boards on one parallel port (because all boards reside at the same EPP address) but supporting one board per parallel port should be possible.

6.8.7 Rebuilding the FPGA firmware

The `src/hal/drivers/pluto_servo_firmware/` and `src/hal/drivers/pluto_step_firmware/` subdirectories contain the Verilog source code plus additional files used by Quartus for the FPGA firmwares. Altera's Quartus II software is required to rebuild the FPGA firmware. To rebuild the firmware from the .hdl and other source files, open the `.qpf` file and press CTRL-L. Then, recompile emc2.

Like the HAL hardware driver, the FPGA firmware is licensed under the terms of the GNU General Public License.

The gratis version of Quartus II runs only on Microsoft Windows, although there is apparently a paid version that runs on Linux.

6.8.8 For more information

The Pluto-P board may be ordered from http://www.knjn.com/ShopBoards_Parallel.html (US based, international shipping is available). Some additional information about it is available from http://www.fpga4fun.com/board_pluto-P.html and from the developer's blog http://emergent.unpy.net/01165081407.

6.9 pluto-servo : Hardware PWM and quadrature counting

The pluto_servo system is suitable for control of a 4-axis CNC mill with servo motors, a 3-axis mill with PWM spindle control, a lathe with spindle encoder, etc. The large number of inputs allows a full set of limit switches.

This driver features :

- 4 quadrature channels with 40MHz sample rate. The counters operate in "4x" mode. The maximum useful quadrature rate is 8191 counts per emc2 servo cycle, or about 8MHz for EMC2's default 1ms servo rate.
- 4 PWM channels, "up/down" or "pwm+dir" style. 4095 duty cycles from -100% to +100%, including 0%. The PWM period is approximately 19.5kHz (40MHz / 2047). A PDM-like mode is also available.
- 18 digital outputs : 10 dedicated, 8 shared with PWM functions. (Example : A lathe with unidirectional PWM spindle control may use 13 total digital outputs)
- 20 digital inputs : 8 dedicated, 12 shared with Quadrature functions. (Example : A lathe with index pulse only on the spindle may use 13 total digital inputs)
- EPP communication with the PC. The EPP communication typically takes around 100uS on machines tested so far, enabling servo rates above 1kHz.

6.9.1 Pinout

UPx The "up" (up/down mode) or "pwm" (pwm+direction mode) signal from PWM generator X. May be used as a digital output if the corresponding PWM channel is unused, or the output on the channel is always negative. The corresponding digital output invert may be set to TRUE to make UPx active low rather than active high.

DNx The "down" (up/down mode) or "direction" (pwm+direction mode) signal from PWM generator X. May be used as a digital output if the corresponding PWM channel is unused, or the output on the channel is never negative. The corresponding digital ouput invert may be set to TRUE to make DNx active low rather than active high.

QAx, QBx The A and B signals for Quadrature counter X. May be used as a digital input if the corresponding quadrature channel is unused.

QZx The Z (index) signal for quadrature counter X. May be used as a digital input if the index feature of the corresponding quadrature channel is unused.

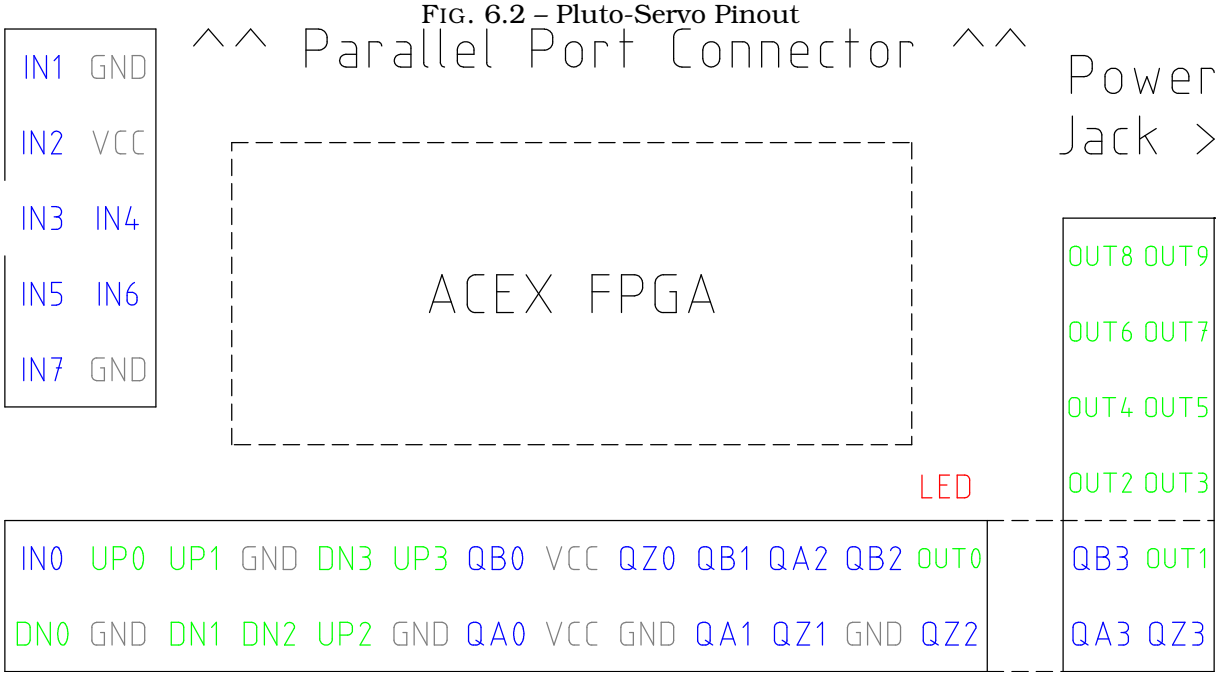
INx Dedicated digital input #x

OUTx Dedicated digital output #x

GND Ground

VCC +3.3V regulated DC

FIG. 6.2 – Pluto-Servo Pinout



TAB. 6.1 – Pluto-Servo Alternate Pin Functions

Primary function	Alternate Function	Behavior if both functions used
UP0	PWM0	When pwm-0-pwmdir is TRUE, this pin is the PWM output
	OUT10	XOR'd with UP0 or PWM0
UP1	PWM1	When pwm-1-pwmdir is TRUE, this pin is the PWM output
	OUT12	XOR'd with UP1 or PWM1
UP2	PWM2	When pwm-2-pwmdir is TRUE, this pin is the PWM output
	OUT14	XOR'd with UP2 or PWM2
UP3	PWM3	When pwm-3-pwmdir is TRUE, this pin is the PWM output
	OUT16	XOR'd with UP3 or PWM3
DN0	DIR0	When pwm-0-pwmdir is TRUE, this pin is the DIR output
	OUT11	XOR'd with DN0 or DIR0
DN1	DIR1	When pwm-1-pwmdir is TRUE, this pin is the DIR output
	OUT13	XOR'd with DN1 or DIR1
DN2	DIR2	When pwm-2-pwmdir is TRUE, this pin is the DIR output
	OUT15	XOR'd with DN2 or DIR2
DN3	DIR3	When pwm-3-pwmdir is TRUE, this pin is the DIR output
	OUT17	XOR'd with DN3 or DIR3
QZ0	IN8	Read same value
QZ1	IN9	Read same value
QZ2	IN10	Read same value
QZ3	IN11	Read same value
QA0	IN12	Read same value
QA1	IN13	Read same value
QA2	IN14	Read same value
QA3	IN15	Read same value
QB0	IN16	Read same value
QB1	IN17	Read same value
QB2	IN18	Read same value
QB3	IN19	Read same value

6.9.2 Input latching and output updating

– PWM duty cycles for each channel are updated at different times.
– Digital outputs OUT0 through OUT9 are all updated at the same time. Digital outputs OUT10 through OUT17 are updated at the same time as the pwm function they are shared with.
– Digital inputs IN0 through IN19 are all latched at the same time.
– Quadrature positions for each channel are latched at different times.

6.9.3 HAL Functions, Pins and Parameters

A list of all 'loadrt' arguments, HAL function names, pin names and parameter names is in the manual page, *pluto_servo.9*.

6.9.4 Compatible driver hardware

A schematic for a 2A, 2-axis PWM servo amplifier board is available (http://emergent.unpy.net/projects/01148303608). The L298 H-Bridge (L298 H-bridge http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1773.pdf) is inexpensive and can easily be used for motors up to 4A (one motor per L298) or up to 2A (two motors per L298) with the supply voltage up to 46V. However, the L298 does not have built-in current limiting, a problem for motors with high stall currents. For higher currents and voltages, some users have reported success with International Rectifier's integrated high-side/low-side drivers. (http://www.cnczone.com/forums/showthread.php?t=25929)

6.10 Pluto-step : 300kHz Hardware Step Generator

Pluto-step is suitable for control of a 3- or 4-axis CNC mill with stepper motors. The large number of inputs allows for a full set of limit switches.

The board features :

– 4 "step+direction" channels with 312.5kHz maximum step rate, programmable step length, space, and direction change times
– 14 dedicated digital outputs
– 16 dedicated digital inputs
– EPP communuication with the PC

6.10.1 Pinout

STEPx The "step" (clock) output of stepgen channel **x**

DIRx The "direction" output of stepgen channel **x**

INx Dedicated digital input #x

OUTx Dedicated digital output #x

GND Ground

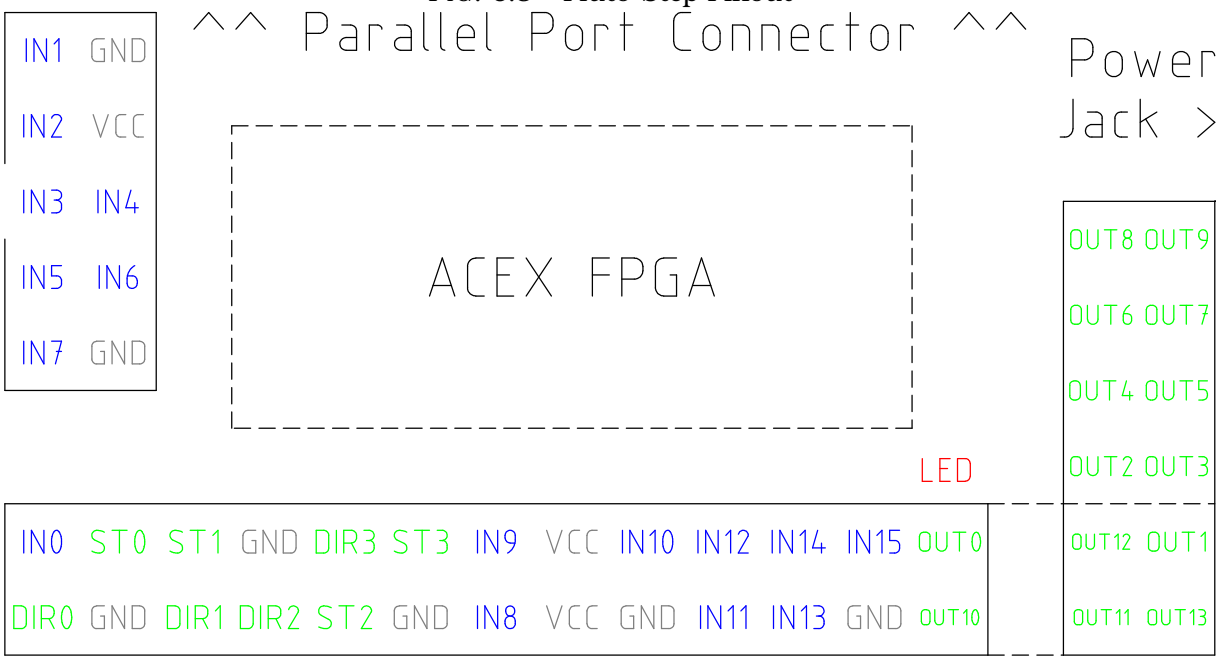
VCC +3.3V regulated DC

While the "extended main connector" has a superset of signals usually found on a Step & Direction DB25 connector–4 step generators, 9 inputs, and 6 general-purpose outputs–the layout on this header is different than the layout of a standard 26-pin ribbon cable to DB25 connector.

6.10.2 Input latching and output updating

– Step frequencies for each channel are updated at different times.
– Digital outputs are all updated at the same time.
– Digital inputs are all latched at the same time.
– Feedback positions for each channel are latched at different times.

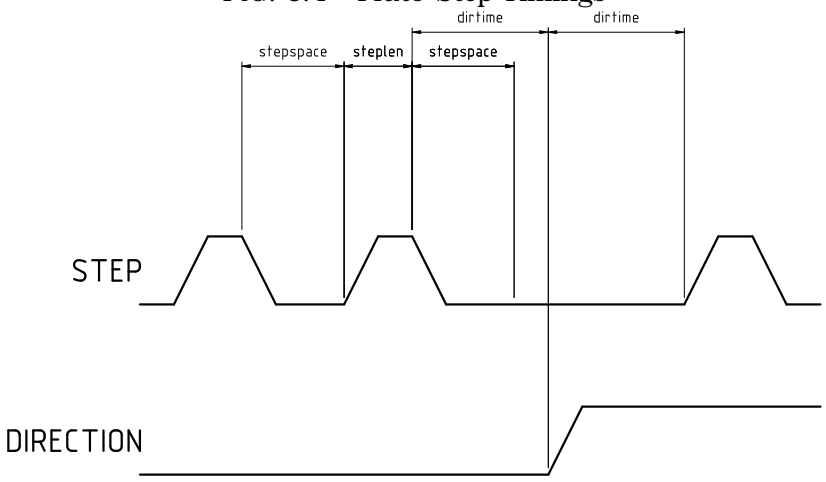
FIG. 6.3 – Pluto-Step Pinout



6.10.3 Step Waveform Timings

The firmware and driver enforce step length, space, and direction change times. Timings are rounded up to the next multiple of $1.6\mu s$, with a maximum of $49.6\mu s$. The timings are the same as for the software stepgen component, except that "dirhold" and "dirsetup" have been merged into a single parameter "dirtime" which should be the maximum of the two, and that the same step timings are always applied to all channels.

FIG. 6.4 – Pluto-Step Timings



6.10.4 HAL Functions, Pins and Parameters

A list of all 'loadrt' arguments, HAL function names, pin names and parameter names is in the manual page, *pluto_step.9*.

Chapitre 7

Composants internes

La plupart des composants ont leurs pages de manuel, style *nix. Pour afficher ces “man pages” pour les composants temps réel, taper dans un terminal “man 9 *nomducomposant*”.

Le présent document se concentre sur les composants les plus complexes qui demandent des figures difficiles à reproduire dans une man page.

7.1 Stepgen

Ce composant fournit un générateur logiciel d’impulsions de pas répondant aux commandes de position ou de vitesse. En mode position, il contient une boucle de position pré-réglée, de sorte que les réglages de PID ne sont pas nécessaires. En mode vitesse, il pilote un moteur à la vitesse commandée, tout en obéissant aux limites de vitesse et d’accélération. C’est un composant uniquement temps réel, dépendant de plusieurs facteurs comme la vitesse du CPU, etc, il est capable de fournir des fréquences de pas maximum comprisent entre 10kHz et 50kHz. La figure 7.1 montre trois schémas fonctionnels, chacun est un simple générateur d’impulsions de pas. Le premier diagramme est pour le type ’0’, (pas et direction). Le second est pour le type ’1’ (up/down, ou pseudo-PWM) et le troisième est pour les types 2 jusqu’à 14 (les différentes séquences de pas). Les deux premiers diagrammes montrent le mode de commande position et le troisième montre le mode vitesse. Le mode de commande et le type de pas, se réglent indépendamment et n’importe quelle combinaison peut être choisie.

7.1.1 L’installer

```
emc2$ halcmd loadrt stepgen step_type=<type-array> [ctrl_type=<ctrl_array>]
```

<type-array> est une série d’entiers décimaux séparés par des virgules. Chaque chiffre provoquera le chargement d’un simple générateur d’impulsions de pas, la valeur de ce chiffre déterminera le type de pas. <ctrl_array> est une série de lettres “**p**” ou “**v**” séparées par des virgules, qui spécifient le mode pas ou le mode vitesse. **ctrl_type** est optionnel, si il est omis, tous les générateurs de pas seront en mode position. Par exemple, la commande :

```
emc2# halcmd loadrt stepgen.o step_type=0,0,2 ctrl_type=p,p,v
```

va installer trois générateurs de pas. Les deux premiers utilisent le type de pas ’0’ (pas et direction) et fonctionnent en mode position. Le dernier utilise le type de pas ’2’ (quadrature) et fonctionne en mode vitesse. La valeur par défaut de <config-array> est “0,0,0” qui va installer trois générateurs de type ’0’ (step/dir). Le nombre maximum de générateurs de pas est de 8 (comme définit par MAX_CHAN dans stepgen.c). Chaque générateur est indépendant, mais tous sont actualisés par la même fonction(s), au même instant. Dans les descriptions qui suivent, <chan> est le nombre de générateurs spécifiques. La numérotation des générateurs commence à 0.

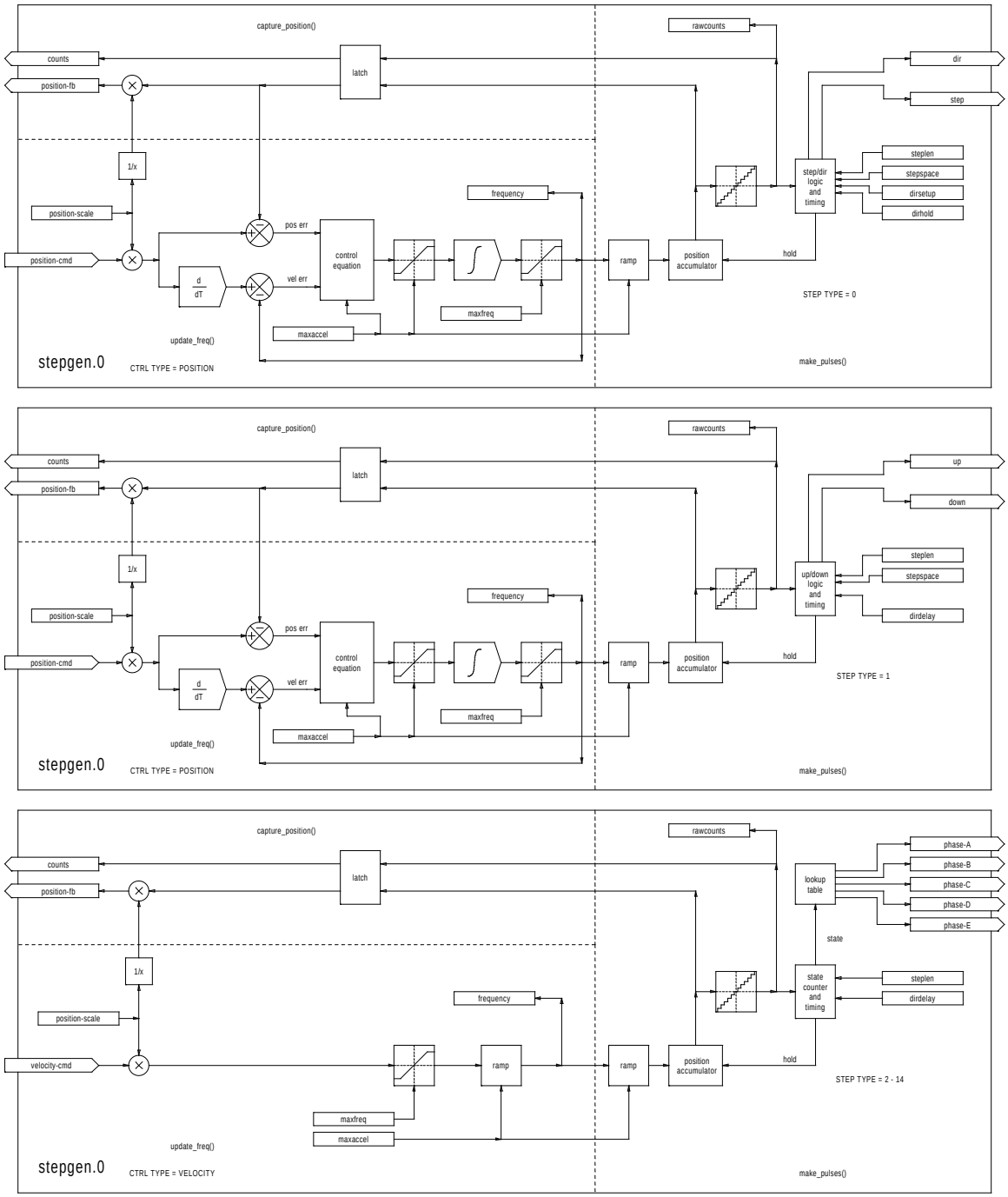


FIG. 7.1 – Diagramme bloc du générateur de pas (en mode position)

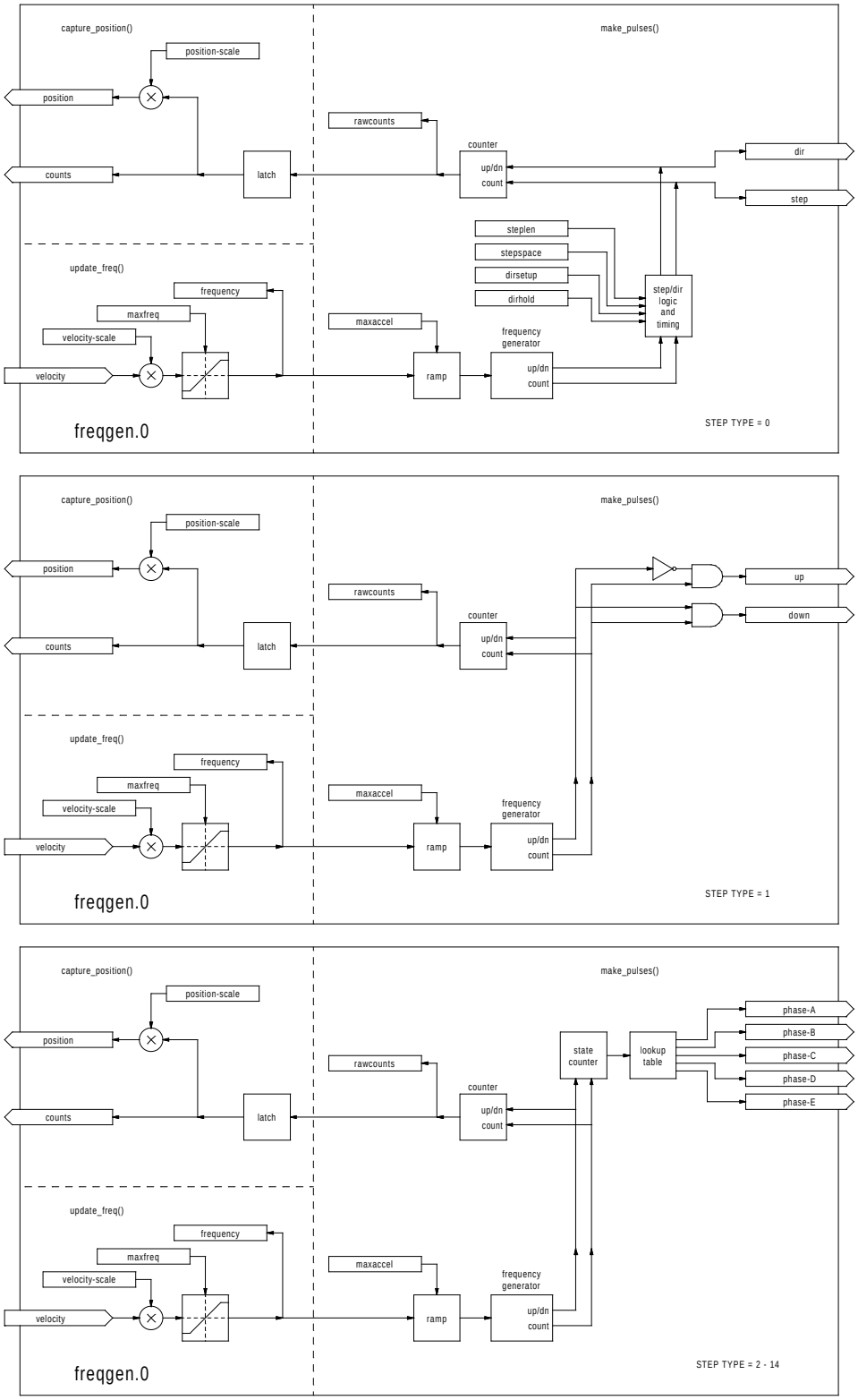


FIG. 7.2 – Diagramme bloc du générateur de pas (en mode vitesse)

7.1.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt stepgen
```

7.1.3 Pins

Chaque générateur d'impulsions de pas n'aura que certaines de ces pins, selon le type de pas et le mode de contrôle sélectionné.

- (FLOAT) stepgen.<chan>.position-cmd – Position désirée du moteur, en unités de longueur (mode position seulement).
- (FLOAT) stepgen.<chan>.velocity-cmd – Vitesse désirée du moteur, en unités de longueur par seconde (mode vitesse seulement).
- (S32) stepgen.<chan>.counts – Rétroaction de la position en unités de comptage, actualisée par la fonction capture_position().
- (FLOAT) stepgen.<chan>.position-fb – Rétroaction de la position en unités de longueur, actualisée par la fonction capture_position().
- (BIT) stepgen.<chan>.step – Sortie des impulsions de pas (type de pas 0 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.dir – Sortie direction (type de pas 0 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.up – Sortie UP en pseudo-PWM (type de pas 1 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.down – Sortie DOWN en pseudo-PWM (type de pas 1 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.phase-A – Sortie phase A (séquences de pas 2 à 14 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.phase-B – Sortie phase B (séquences de pas 2 à 14 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.phase-C – Sortie phase C (séquences de pas 3 à 14 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.phase-D – Sortie phase D (séquences de pas 5 à 14 seulement).
- (BIT) stepgen.<chan>.phase-E – Sortie phase E (séquences de pas 11 à 14 seulement).

7.1.4 Paramètres

- (FLOAT) stepgen.<chan>.position-scale – Pas par unité de longueur. Ce paramètre est utilisé pour les sorties et les rétroactions.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.maxvel – Vitesse maximale, en unités de longueur par seconde. Si égal à 0.0, n'a aucun effet.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.maxaccel – Valeur maximale d'accélération, en unités de longueur par seconde au carré. Si égal à 0.0, n'a aucun effet.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.frequency – Fréquence des pas, en pas par seconde.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.steplen – Durée de l'impulsion de pas (types de pas 0 et 1) ou durée minimum dans un état donné (séquences de pas 2 à 14), en nanosecondes.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.stepspace – Espace minimum entre deux impulsions de pas (types de pas 0 et 1 seulement), en nanosecondes.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.dirsetup – Durée minimale entre un changement de direction et le début de la prochaine impulsion de pas (type de pas 0 seulement), en nanosecondes.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.dirhold – Durée minimale entre la fin d'une impulsion de pas et un changement de direction (type de pas 0 seulement), en nanosecondes.
- (FLOAT) stepgen.<chan>.dirdelay – Durée minimale entre un pas dans une direction et un pas dans la direction opposée (séquences de pas 1 à 14 seulement), en nanosecondes.
- (S32) stepgen.<chan>.rawcounts – Valeur de comptage brute (count) de la rétroaction, réactualisée par la fonction make_pulses().

En mode position, les valeurs de maxvel et de maxaccel sont utilisées par la boucle de position interne pour éviter de générer des trains d'impulsions de pas que le moteur ne peut pas suivre. Lorsqu'elles sont réglées sur des valeurs appropriées pour le moteur, même un grand changement instantané dans la position commandée produira un mouvement trapézoïdal en douceur vers la nouvelle position. L'algorithme fonctionne en mesurant à la fois, l'erreur de position et l'erreur de vitesse, puis en calculant une accélération qui tende à réduire vers zéro, les deux en même temps. Pour plus de détails, y compris les contenus de la boîte "d'équation de contrôle", consulter le code source.

En mode vitesse, maxvel est une simple limite qui est appliquée à la vitesse commandée, maxaccel est utilisé pour créer une rampe avec la fréquence actuelle, si la vitesse commandée change brutalement. Comme dans le mode position, des valeurs appropriées de ces paramètres assurent que le moteur pourra suivre le train d'impulsions généré.

7.1.5 Séquences de pas

Le générateur de pas supporte 15 différentes "séquences de pas". Le type de pas 0 est le plus familier, c'est le standard pas et direction (step/dir). Quand stepgen est configuré pour le type 0, il y a quatre paramètres supplémentaires qui déterminent le timing exact des signaux de pas et de direction. Voir la figure 7.3 pour la signification de ces paramètres. Les paramètres sont en nanosecondes, mais ils doivent être arrondis à un entier, multiple de la période du thread qui appelle `make_pulses()`. Par exemple, si `make_pulses()` est appelée toutes les 16μs et que "steplen" est à 20000, alors l'impulsion de pas aura une durée de 2 x 16 = 32μs. La valeur par défaut de ces quatre paramètres est de 1ns, mais l'arrondi automatique prendra effet au premier lancement du code. Puisqu'un pas exige d'être haut pendant "`steplen`"ns et bas pendant "`stepspace`"ns, la fréquence maximale est 1.000.000.000 divisé par `(steplen+stepspace)`. Si "`maxfreq`" est réglé plus haut que cette limite, il sera abaissé automatiquement. Si "maxfreq" est à zéro, il restera à zéro, mais la fréquence de sortie sera toujours limitée.

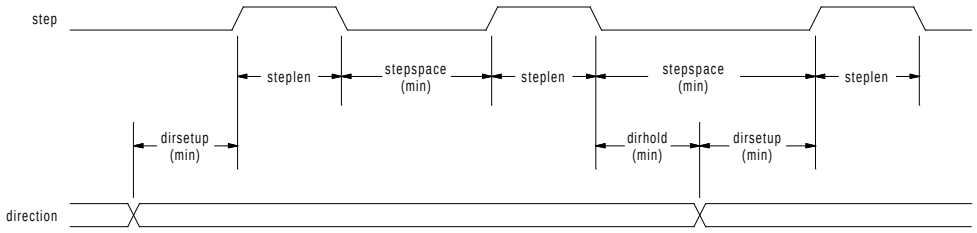


FIG. 7.3 – Timing pas et direction

Le type de pas 1 a deux sorties, up et down. Les impulsions apparaissent sur l'une ou l'autre, selon la direction du déplacement. Chaque impulsion a une durée de "`steplen`"ns et les impulsions sont séparées de "`stepspace`"ns. La fréquence maximale est la même que pour le type 0. Si "`maxfreq`" est réglé plus haut que cette limite il sera abaissé automatiquement. Si "maxfreq" est à zéro, il restera à zéro, mais la fréquence de sortie sera toujours limitée.

Les séquences 2 jusqu'à 14 sont basées sur les états et ont entre deux et cinq sorties. Pour chaque pas, un compteur d"état est incrémenté ou décrémenté. Les figures 7.4, 7.5 et 7.6 montrent les différentes séquences des sorties en fonction de l'état du compteur. La fréquence maximale est

1.000.000.000 divisé par "`steplen`" et comme dans les autres séquences, "`maxfreq`" sera abaissé si il est au dessus de cette limite.

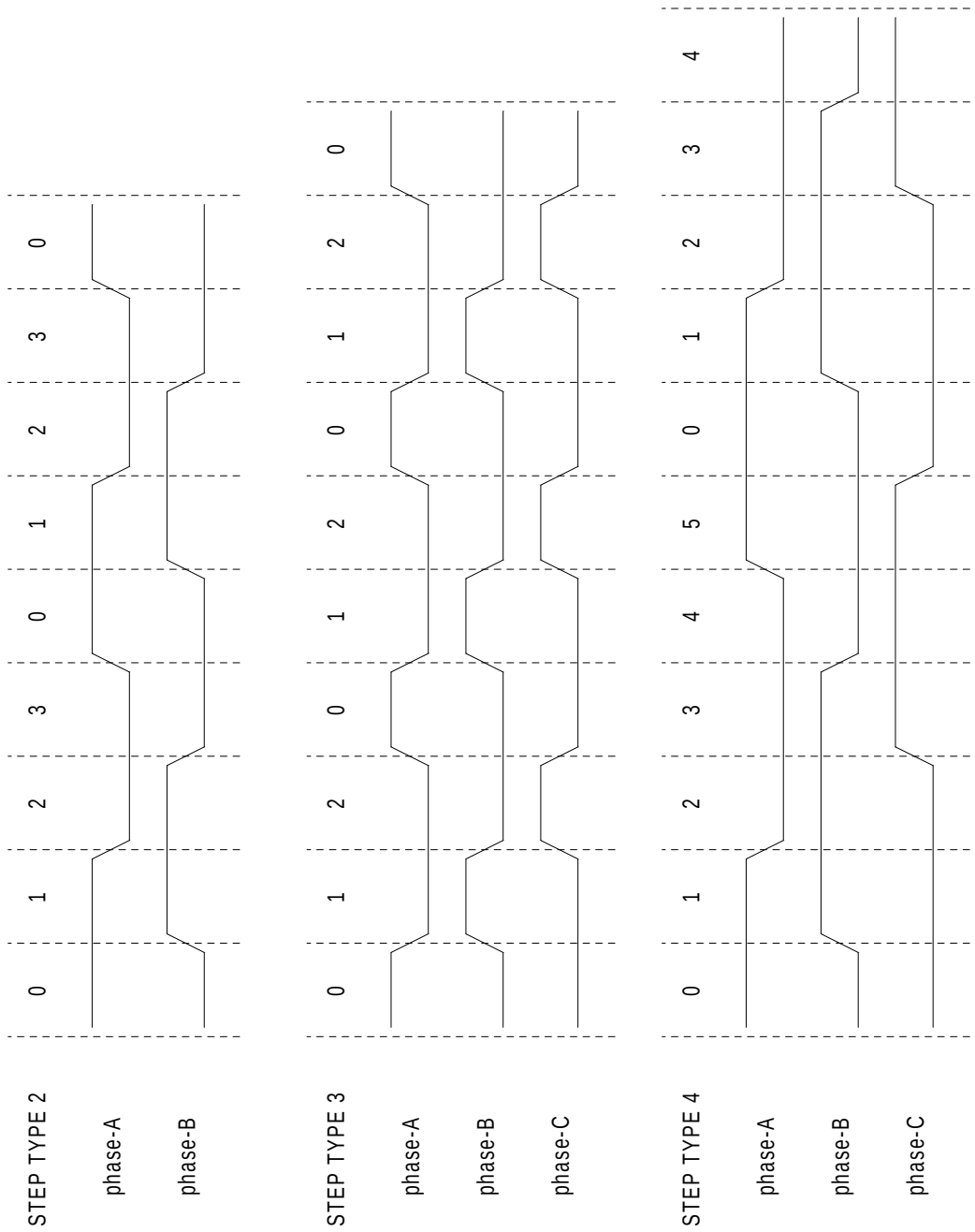


FIG. 7.4 – Séquences de pas à trois phases

7.1.6 Fonctions

Le composant exporte trois fonctions. Chaque fonction agit sur tous les générateurs d'impulsions de pas. Lancer différents générateurs dans différents threads n'est pas supporté.

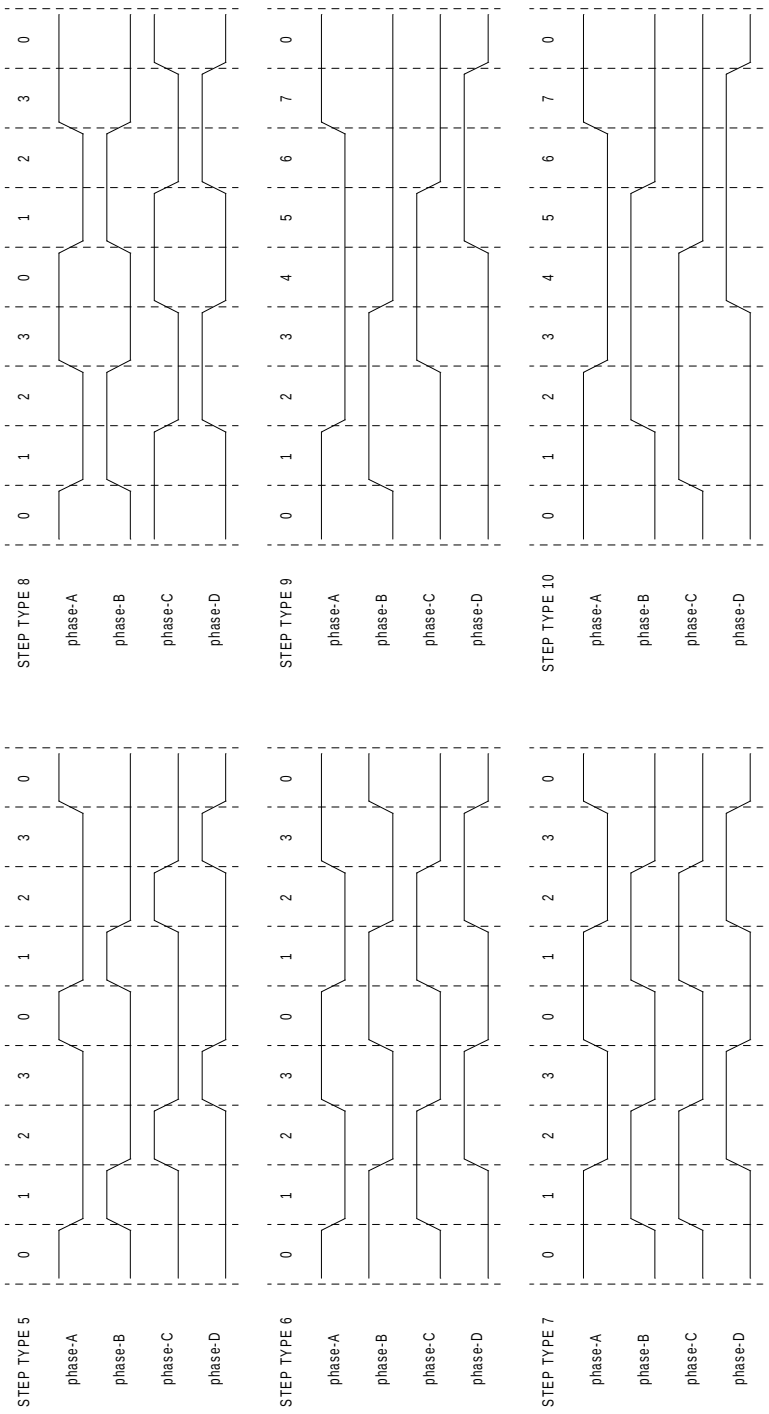


FIG. 7.5 – Séquences de pas à quatre phases

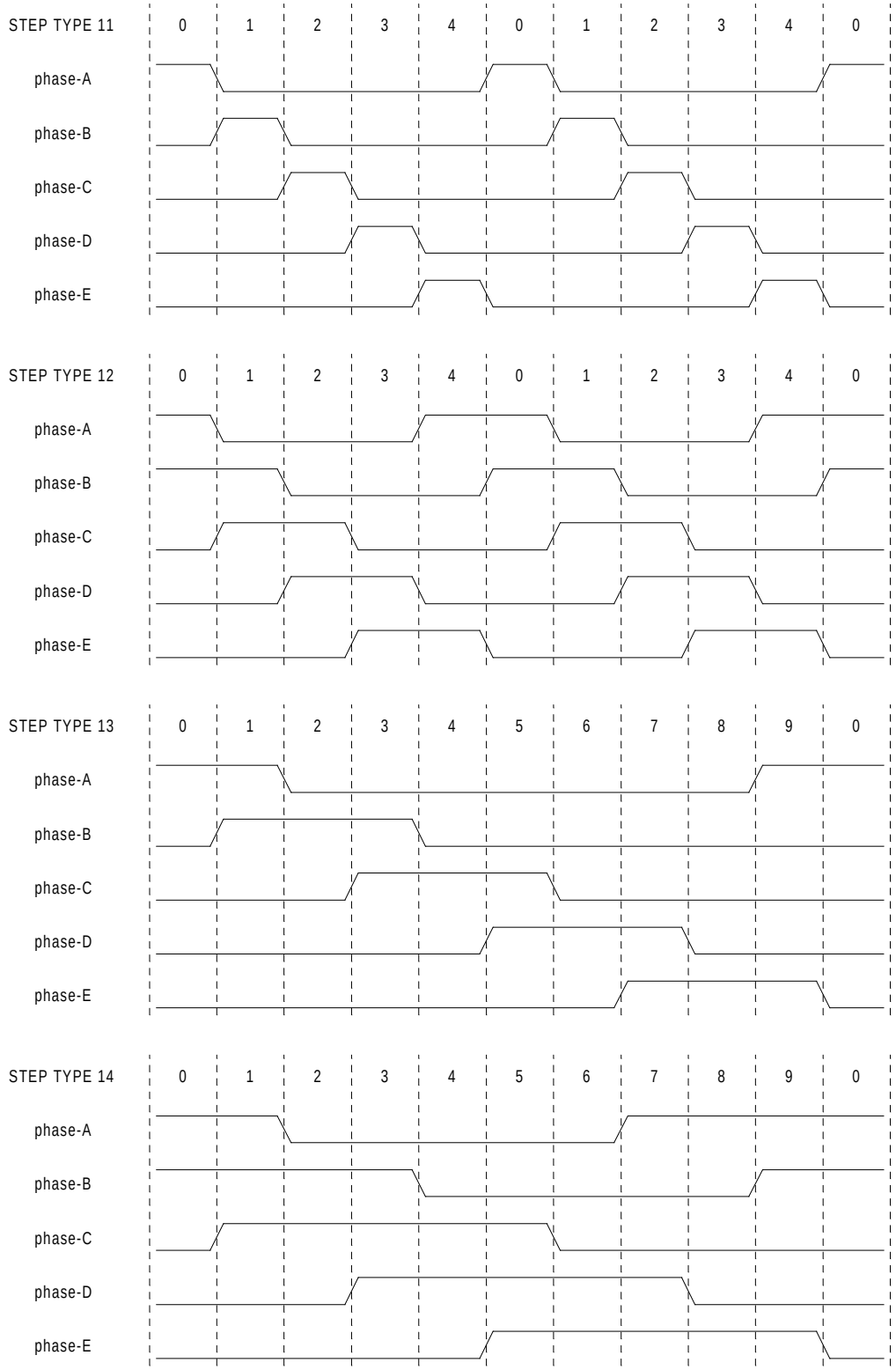


FIG. 7.6 – Séquence de pas à cinq phases

– (FUNCT) stepgen.make-pulses – Fonction haute vitesse de génération et de comptage des impulsions (non flottant).
– (FUNCT) stepgen.update-freq – Fonction basse vitesse de conversion de position en vitesse, mise à l'échelle et traitement des limitations.
– (FUNCT) stepgen.capture-position – Fonction basse vitesse pour la rétroaction, met à jour les latches et les mesures de position.

La fonction à grande vitesse "stepgen.make-pulses" devrait être lancée dans un thread très rapide, entre 10 et 50μs selon les capacités de l'ordinateur. C'est la période de ce thread qui détermine la fréquence maximale des pas, de steplen, stepspace, dirsetup, dirhold et dirdelay, tous sont arrondis au multiple entier de la période du thread en nanosecondes. Les deux autres fonctions peuvent être appelées beaucoup plus lentement.

7.2 PWMgen

Ce composant fournit un générateur logiciel de PWM (modulation de largeur d'impulsions) et PDM (modulation de densité d'impulsions). C'est un composant temps réel uniquement, dépendant de plusieurs facteurs comme la vitesse du CPU, etc, Il est capable de générer des fréquences PWM de quelques centaines de Hertz en assez bonne résolution, à peut-être 10kHz avec une résolution limitée.

7.2.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt pwmgen output_type=<config-array>
```

<config-array> est une série d'entiers décimaux séparés par des virgules. Chaque chiffre provoquera le chargement d'un simple générateur de PWM, la valeur de ce chiffre determinera le type de sortie. Par exemple :

```
emc2$ halcmd loadrt pwmgen step_type=0,1,2
```

va installer trois générateurs de PWM. Le premier utilisera une sortie de type '0' (PWM seule), le suivant utilisera une sortie de type 1 (PWM et direction) et le troisième utilisera une sortie de type 2 (UP et DOWN). Il n'y a pas de valeur par défaut, si <config-array> n'est pas spécifié, aucun générateur de PWM ne sera installé. Le nombre maximum de générateurs de fréquences est de 8 (comme définit par MAX_CHAN dans pwmgen.c). Chaque générateur est indépendant, mais tous sont mis à jour par la même fonction(s), au même instant. Dans les descriptions qui suivent, <chan> est le nombre de générateurs spécifiques. La numérotation des générateurs de PWM commence à 0.

7.2.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt pwmgen
```

7.2.3 Pins

Chaque générateur de PWM aura les pins suivantes :

- (FLOAT) pwmgen.<chan>.value – Valeur commandée, en unités arbitraires. Sera mise à l'échelle par le paramètre d'échelle (voir ci-dessous).
- (BIT) pwmgen.<chan>.enable – Active ou désactive les sorties du générateur de PWM.

Chaque générateur de PWM aura également certaines de ces pins, selon le type de sortie choisi :

- (BIT) pwmgen.<chan>.pwm – Sortie PWM (ou PDM), (types de sortie 0 et 1 seulement).
- (BIT) pwmgen.<chan>.dir – Sortie direction (type de sortie 1 seulement).
- (BIT) pwmgen.<chan>.up – Sortie PWM/PDM pour une valeur positive en entrée (type de sortie 2 seulement).
- (BIT) pwmgen.<chan>.down – Sortie PWM/PDM pour une valeur négative en entrée (type de sortie 2 seulement).

7.2.4 Paramètres

- (FLOAT) pwmgen.<chan>.scale – Facteur d'échelle pour convertir les valeurs en unités arbitraires, en coefficients de facteur cyclique.
- (FLOAT) pwmgen.<chan>.pwm-freq – Fréquence de PWM désirée, en Hz. Si égale à 0.0, la modulation sera PDM au lieu de PWM. Si elle est réglée plus haute que les limites internes, au prochain appel de la fonction update_freq() elle sera ramenée aux limites internes. Si elle est différente de zéro et si le lissage est faux, au prochain appel de la fonction update_freq() elle sera réglée au plus proche entier multiple de la période de la fonction make_pulses().

– (BIT) pwmgen.<chan>.dither-pwm – Si vrai, active le lissage pour affiner la fréquence PWM ou le rapport cyclique qui ne pourraient pas être obtenus avec une pure PWM. Si faux, la fréquence PWM et le rapport cyclique seront tous les deux arrondis aux valeurs pouvant être atteintes exactement.
– (FLOAT) pwmgen.<chan>.min-dc – Rapport cyclique minimum compris entre 0.0 et 1.0 (Le rapport cyclique sera à zéro quand il est désactivé, indépendamment de ce paramètre).
– (FLOAT) pwmgen.<chan>.max-dc – Rapport cyclique maximum compris entre 0.0 et 1.0.
– (FLOAT) pwmgen.<chan>.curr-dc – Rapport cyclique courant, après toutes les limitations et les arrondis (lecture seule).

7.2.5 Types de sortie

Le générateur de PWM supporte trois “types de sortie”. Le type 0 a une seule pin de sortie. Seules, les commandes positives sont acceptées, les valeurs négatives sont traitées comme zéro (elle seront affectées par min-dc si il est différent de zéro). Le type 1 a deux pins de sortie, une pour le signal PWM/PDM et une pour indiquer la direction. Le rapport cyclique d'une pin PWM est basé sur la valeur absolue de la commande, de sorte que les valeurs négatives sont acceptables. La pin de direction est fausse pour les commandes positives et vraie pour les commandes négatives. Finalement, le type 2 a également deux sorties, appelées “up” et “down”. Pour les commandes positives, le signal PWM apparaît sur la sortie up et la sortie down reste fausse. Pour les commandes négatives, le signal PWM apparaît sur la sortie down et la sortie up reste fausse. Les sorties de type 2 sont appropriées pour piloter la plupart des ponts en H.

7.2.6 Fonctions

Le composant exporte deux fonctions. Chaque fonction agit sur tous les générateurs de PWM, lancer différents générateurs dans différents threads n'est pas supporté.

– (FUNCT) pwmgen.make-pulses – Fonction haute vitesse de génération de fréquences PWM (non flottant).
– (FUNCT) pwmgen.update – Fonction basse vitesse de mise à l'échelle, limitation des valeurs et traitement d'autres paramètres.

La fonction haute vitesse “pwmgen.make-pulses” devrait être lancée dans un thread très rapide, entre 10 et 50μs selon les capacités de l'ordinateur. C'est la période de ce thread qui détermine la fréquence maximale de la porteuse PWM, ainsi que la résolution des signaux PWM ou PDM. L'autre fonction peut être appelée beaucoup plus lentement.

7.3 Codeur

Ce composant fournit, en logiciel, le comptage des signaux provenant d'encodeurs en quadrature. Il s'agit d'un composant temps réel uniquement, il est dépendant de divers facteurs comme la vitesse du CPU, etc, il est capable de compter des signaux de fréquences comprises entre 10kHz à peut être 50kHz. La figure 7.7 est le diagramme bloc d'un canal de comptage de codeur.

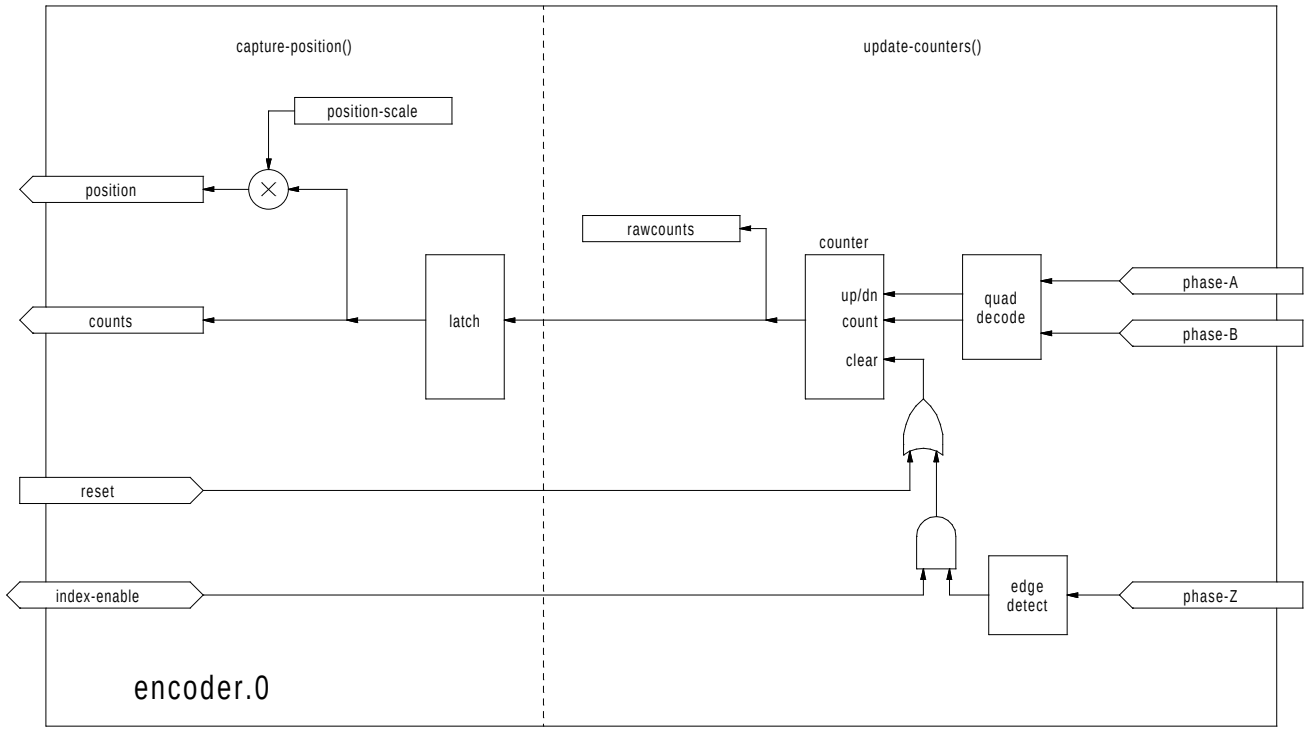


FIG. 7.7 – Diagramme bloc du compteur de codeur

7.3.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt encoder [num_chan=<counters>]
```

<counters> est le nombre de compteurs de codeur à installer. Si numchan n'est pas spécifié, trois compteurs seront installés. Le nombre maximum de compteurs est de 8 (comme définit par MAX_CHAN dans encoder.c). Chaque compteur est indépendant, mais tous sont mis à jour par la même fonction(s) au même instant. Dans les descriptions qui suivent, <chan> est le nombre de compteurs spécifiques. La numérotation des compteurs commence à 0.

7.3.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt encoder
```

7.3.3 Pins

- (BIT) encoder.<chan>.phase-A – Signal de la phase A du codeur en quadrature.
- (BIT) encoder.<chan>.phase-B – Signal de la phase B du codeur en quadrature.
- (BIT) encoder.<chan>.phase-Z – Signal de la phase Z (impulsion d'ndex) du codeur en quadrature.
- (BIT) encoder.<chan>.reset – Voir l'interface canonique des codeurs à la section 4.5.
- (BIT) encoder.<chan>.velocity – Vitesse estimée du signal de quadrature.
- (BIT) encoder.<chan>.index-enable – Voir l'interface canonique des codeurs.
- (S32) encoder.<chan>.count – Voir l'interface canonique des codeurs.
- (FLOAT) encoder.<chan>.position – Voir l'interface canonique des codeurs.

7.3.4 Paramètres

- (S32) encoder.<chan>.raw-count – Valeur de comptage brute, actualisée par la fonction update-counters
- (BIT) encoder.<chan>.x4-mode – Ajuste le comptage en mode 4x ou 1x. Le mode 1x est intéressant pour les manivelles de jog.
- (FLOAT) encoder.<chan>.position-scale – Voir l'interface canonique des codeurs à la section 4.5.

7.3.5 Fonctions

Le composant exporte deux fonctions. Chaque fonction agit sur tous les compteurs de codeur, lancer différents compteurs de codeur dans différents threads n'est pas supporté.

- (FUNCT) encoder.update-counters – Fonction haute vitesse de comptage d'impulsions (non flottant).
- (FUNCT) encoder.capture-position – Fonction basse vitesse d'actualisation des latches et mise à l'échelle de la position.

7.4 PID

Ce composant fournit une boucle de contrôle Proportionnel/Intégrale/Dérivée. C'est un composant temps réel uniquement. Par souci de simplicité, cette discussion suppose que nous parlons de boucles de position, mais ce composant peut aussi être utilisé pour implémenter d'autres boucles de rétroaction telles que vitesse, hauteur de torche, température, etc. La figure 7.8 est le schéma fonctionnel d'une simple boucle PID.

7.4.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt pid [num_chan=<loops>] [debug=1]
```

`<loops>` est le nombre de boucles PID à installer. Si `numchan` n'est pas spécifié, une seule boucle sera installée. Le nombre maximum de boucles est de 16 (comme définit par MAX_CHAN dans pid.c). Chaque boucle est complétement indépendante. Dans les descriptions qui suivent, `<loopnum>` est le nombre de boucles spécifiques. La numérotation des boucle PID commence à 0.

Si `debug=1` est spécifié, le composant exporte quelques paramètres destinés au déboguage et aux réglages. Par défaut, ces paramètres ne sont pas exportés, pour économiser la mémoire partagée et éviter d'encombrer la liste des paramètres.

7.4.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt pid
```

7.4.3 Pins

Les trois principales pins sont :

- `(FLOAT) pid.<loopnum>.command` – La position désirée (consigne), telle que commandée par un autre composant système.
- `(FLOAT) pid.<loopnum>.feedback` – La position actuelle (mesure), telle que mesurée par un organe de rétroaction comme un codeur de position.
- `(FLOAT) pid.<loopnum>.output` – Une commande de vitesse qui tend à aller de la position actuelle à la position désirée.

Pour une boucle de position, 'command' et 'feedback' sont en unités de longueur. Pour un axe linéaire, cela pourrait être des pouces, mm, mètres, ou tout autre unité pertinente. De même pour un axe angulaire, ils pourraient être des degrés, radians, etc. Les unités sur la pin 'output' représentent l'écart nécessaire pour que la rétroaction coïncide avec la commande. Pour une boucle de position, 'output' est une vitesse exprimée en pouces/seconde, mm/seconde, degrés/seconde, etc. Les unités de temps sont toujours des secondes et les unités de vitesses restent cohérentes avec les unités de longueur. Si la commande et la rétroaction sont en mètres, la sortie sera en mètres par seconde.

Chaque boucle PID a deux autres pins qui sont utilisées pour surveiller ou contrôler le fonctionnement général du composant.

- `(FLOAT) pid.<loopnum>.error` – Egal à `.command` moins `.feedback`. (consigne - mesure)
- `(BIT) pid.<loopnum>.enable` – Un bit qui active la boucle. Si `.enable` est faux, tous les intégrateurs sont remis à zéro et les sorties sont forcées à zéro. Si `.enable` est vrai, la boucle opère normalement.

7.4.4 Paramètres

Le gain PID, les limites et autres caractèristiques 'accordables' de la boucle sont implémentés comme des paramètres.

- `(FLOAT) pid.<loopnum>.Pgain` – Gain de la composante proportionnelle
- `(FLOAT) pid.<loopnum>.Igain` – Gain de la composante intégrale

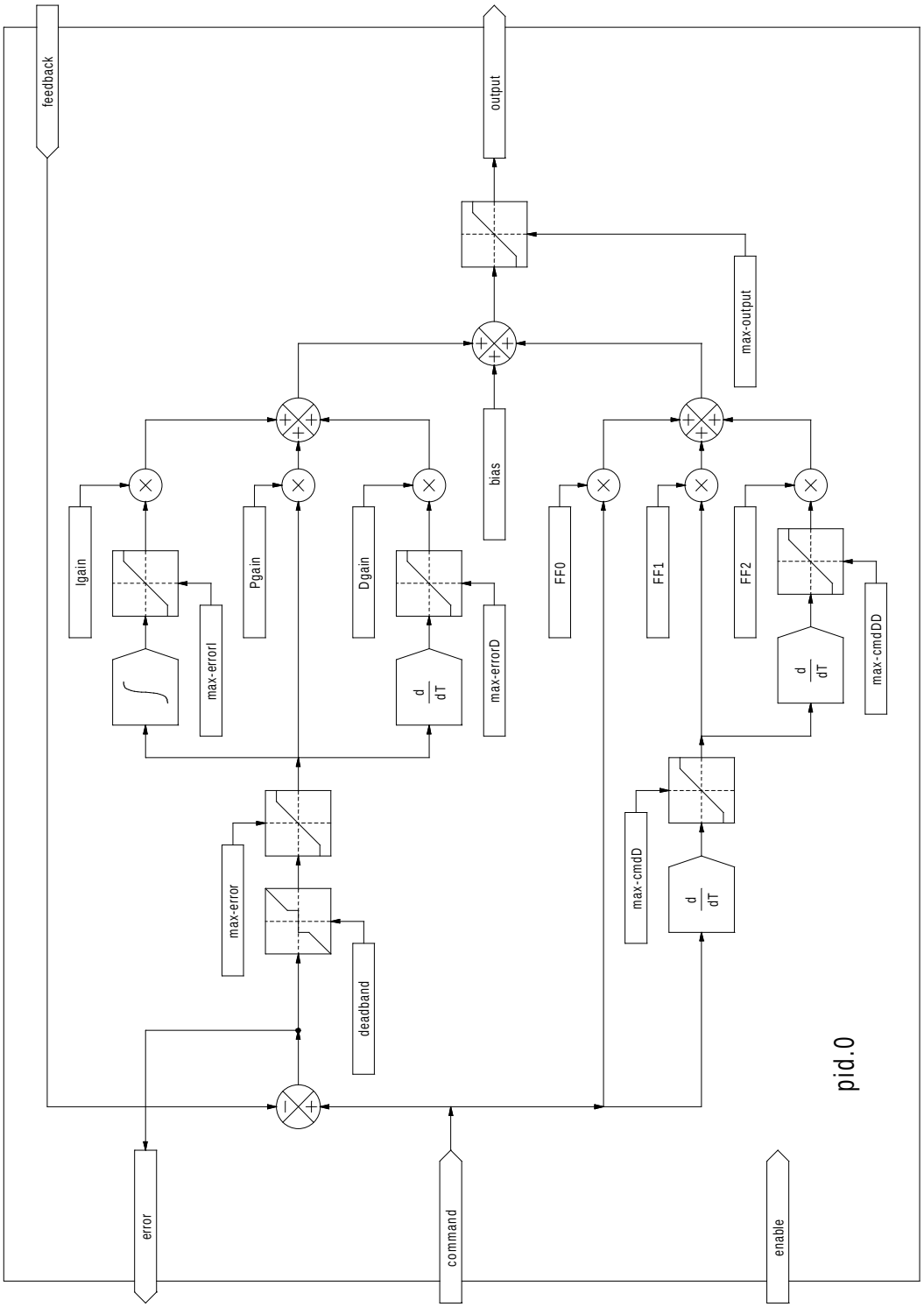


FIG. 7.8 – Diagramme bloc d'une boucle PID

– (FLOAT) pid.<loopnum>.Dgain – Gain de la composante dérivée
– (FLOAT) pid.<loopnum>.bias – Constante du décalage de sortie
– (FLOAT) pid.<loopnum>.FF0 – Correcteur prédictif d'ordre zéro (feedforward) - sortie proportionnelle à la commande (position).
– (FLOAT) pid.<loopnum>.FF1 – Correcteur prédictif de premier ordre (feedforward) - sortie proportionnelle à la dérivée de la commande (vitesse).
– (FLOAT) pid.<loopnum>.FF2 – Correcteur prédictif de second ordre (feedforward) - sortie proportionnelle à la dérivée seconde de la commande (accélération)[1].
– (FLOAT) pid.<loopnum>.deadband – Définit la bande morte (tolérance)
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxerror – Limite d'erreur
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxerrorI – Limite d'erreur intégrale
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxerrorD – Limite d'erreur dérivée
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxcmdD – Limite de la commande dérivée
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxcmdDD – Limite de la commande dérivée seconde
– (FLOAT) pid.<loopnum>.maxoutput – Limite de la valeur de sortie

Toutes les limites max???, sont implémentées de sorte que si la valeur de ce paramètre est à zéro, il n'y a pas de limite.

Si debug=1 est spécifié quand le composant est installé, quatre paramètres supplémentaires seront exportés :

– (FLOAT) pid.<loopnum>.errorI – Intégrale de l'erreur.
– (FLOAT) pid.<loopnum>.errorD – Dérivée de l'erreur.
– (FLOAT) pid.<loopnum>.commandD – Dérivée de la commande.
– (FLOAT) pid.<loopnum>.commandDD – Dérivée seconde de la commande.

7.4.5 Fonctions

Le composant exporte une fonction pour chaque boucle PID. Cette fonction exécute tous les calculs nécessaires à la boucle. Puisque chaque boucle a sa propre fonction, les différentes boucles peuvent être incluses dans les différents threads et exécutées à différents rythmes.

– (FUNCT) pid.<loopnum>.do_pid_calcs – Exécute tous les calculs d'une seule boucle PID.

Si vous voulez comprendre exactement l'algorithme utilisé pour calculer la sortie d'une boucle PID, référez vous à la figure 7.8, les commentaires au début du source emc2/src/hal/components/pid.c et bien sûr, au code lui même. Les calculs de boucle sont dans la fonction C calc_pid().

[1] FF2 n'est actuellement pas implémenté, mais il pourrait l'être. Considérez cette note "FIXME" dans le code.

7.5 Codeur simulé

Le codeur simulé est exactement la même chose qu'un codeur. Il produit des impulsions en quadrature avec une impulsion d'index, à une vitesse contrôlée par une pin de HAL. Surtout utile pour les essais.

7.5.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt sim-encoder num_chan=<number>
```

<number> est le nombre de codeurs à simuler. Si aucun n'est spécifié, un seul codeur sera installé. Le nombre maximum de codeurs est de 8 (comme définit par MAX_CHAN dans sim_encoder.c).

7.5.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt sim-encoder
```

7.5.3 Pins

- (FLOAT) sim-encoder.<chan-num>.speed – La vitesse commandée pour l'arbre simulé.
- (BIT) sim-encoder.<chan-num>.phase-A – Sortie en quadrature.
- (BIT) sim-encoder.<chan-num>.phase-B – Sortie en quadrature.
- (BIT) sim-encoder.<chan-num>.phase-Z – Sortie de l'impulsion d'index.

Quand .speed est positive, .phase-A mène .phase-B.

7.5.4 Paramètres

- (U32) sim-encoder.<chan-num>.ppr – Impulsions par tour d'arbre.
- (FLOAT) sim-encoder.<chan-num>.scale – Facteur d'échelle pour **speed**. Par défaut est de 1.0, ce qui signifie que **speed** est en tours par seconde. Passer l'échelle à 60 pour des tours par minute, la passer à 360 pour des degrés par seconde, à 6.283185 pour des radians par seconde, etc.

Noter que les impulsions par tour ne sont pas identiques aux valeurs de comptage par tour (counts). Une impulsion est un cycle complet de quadrature. La plupart des codeurs comptent quatre fois pendant un cycle complet.

7.5.5 Fonctions

Le composant exporte deux fonctions. Chaque fonction affecte tous les codeurs simulés.

- (FUNCT) sim-encoder.make-pulses – Fonction haute vitesse de génération d'impulsions en quadrature (non flottant).
- (FUNCT) sim-encoder.update-speed – Fonction basse vitesse de lecture de **speed**, de mise à l'échelle et d'activation de **make-pulses**.

7.6 Anti-rebond

L'anti-rebond est un composant temps réel capable de filtrer les rebonds créés par les contacts mécaniques. Il est également très utile dans d'autres applications, où des impulsions très courtes doivent être supprimées.

7.6.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt debounce cfg="<config-string>"
```

<config-string> est une série d'entiers décimaux séparés par des espaces. Chaque chiffre installe un groupe de filtres anti-rebond identiques, le chiffre détermine le nombre de filtres dans le groupe. Par exemple :

```
emc2$ halcmd loadrt debounce cfg="1 4 2"
```

va installer trois groupes de filtres. Le groupe 0 contient un filtre, le groupe 1 en contient quatre et le groupe 2 en contient deux. La valeur par défaut de <config-string> est "1" qui installe un seul groupe contenant un seul filtre. Le nombre maximum de groupes est de 8 (comme définit par MAX_GROUPS dans debounce.c). Le nombre maximum de filtres dans un groupe est limité seulement par l'espace de la mémoire partagée. Chaque groupe est complétement indépendant. Tous les filtres dans un même groupe sont identiques et ils sont tous mis à jour par la même fonction, au même instant. Dans les descriptions qui suivent, <G> est le numéro du groupe et <F> est le numéro du filtre dans le groupe. Le premier filtre est le filtre 0 dans le groupe 0.

7.6.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt debounce
```

7.6.3 Pins

Chaque filtre individuel a deux pins.

– (BIT) debounce.<G>.<F>.in – Entrée du filtre <F> du groupe <G>.
– (BIT) debounce.<G>.<F>.out – Sortie du filtre <F> du groupe <G>.

7.6.4 Paramètres

Chaque groupe de filtre a un paramètre[2].

– (s32) debounce.<G>.delay – Délai de filtrage pour tous les filtres du groupe <G>.

Le délai du filtre est dans l'unité de la période du thread. Le délai minimum est de zéro. La sortie d'un filtre avec un délai de zéro, suit exactement son entrée, il ne filtre rien. Plus le délai augmente, plus larges seront les impulsions rejetées. Si le délai est de 4, toutes les impulsions égales ou inférieures à quatre périodes du thread, seront rejetées.

7.6.5 Fonctions

Chaque groupe de filtres exporte une fonction qui met à jour tous les filtres de ce groupe "simultanément". Différents groupes de filtres peuvent être mis à jour dans différents threads et à différentes périodes.

– (FUNCT) debounce.<G> – Met à jour tous les filtres du groupe <G>.

[2]Chaque filtre individuel a également une variable d'état interne. C'est un switch du compilateur qui peut exporter cette variable comme un paramètre. Ceci est prévu pour des essais et devrait juste être un gaspillage de mémoire partagée dans des circonstances normales.

7.7 Siggen

Siggen est un composant temps réel qui génère des signaux carrés, triangulaires et sinusoïdaux. Il est principalement utilisé pour les essais.

7.7.1 L'installer

```
emc2$ halcmd loadrt siggen [num_chan=<chans>]
```

<chans> est le nombre de générateurs de signaux à installer. Si numchan n'est pas spécifié, un seul générateur de signaux sera installé. Le nombre maximum de générateurs est de 16 (comme définit par MAX_CHAN dans siggen.c). Chaque générateur est complétement indépendant. Dans les descriptions qui suivent, <chan> est le numéro d'un générateur spécifique. Les numéros de générateur commencent à 0.

7.7.2 Le désinstaller

```
emc2$ halcmd unloadrt siggen
```

7.7.3 Pins

Chaque générateur a cinq pins de sortie.

- (FLOAT) siggen.<chan>.sine – Sortie de l'onde sinusoïdale.
- (FLOAT) siggen.<chan>.cosine – Sortie de l'onde cosinusoïdale.
- (FLOAT) siggen.<chan>.sawtooth – Sortie de l'onde en dents de scie.
- (FLOAT) siggen.<chan>.triangle – Sortie de l'onde triangulaire.
- (FLOAT) siggen.<chan>.square – Sortie de l'onde carrée.

Les cinq sorties ont les mêmes fréquence, amplitude et offset.

Trois pins de contrôle s'ajoutent aux pins de sortie :

- (FLOAT) siggen.<chan>.frequency – Réglage de la fréquence en Hertz, par défaut la valeur est de 1 Hz.
- (FLOAT) siggen.<chan>.amplitude – Réglage de l'amplitude de pic des signaux de sortie, par défaut, est à 1.
- (FLOAT) siggen.<chan>.offset – Réglage de la composante continue des signaux de sortie, par défaut, est à 0.

Par exemple, si siggen.0.amplitude est à 1.0 et siggen.0.offset est à 0.0, les sorties oscilleront entre -1.0 et +1.0. Si siggen.0.amplitude est à 2.5 et siggen.0.offset est à 10.0, les sorties oscilleront entre 7.5 et 12.5.

7.7.4 Paramètres

Aucun. [3]

7.7.5 Fonctions

- (FUNCT) siggen.<chan>.update – Calcule les nouvelles valeurs pour les cinq sorties.

[3] Dans les versions antérieures à la 2.1, fréquence, amplitude et offset étaient des paramètres. Ils ont été modifiés en pins pour permettre le contrôle par d'autres composants.

Chapitre 8

Panneau de contrôle virtuel - Virtual Control Panels

8.1 Introduction

Les panneaux de contrôle des machines traditionnelles sont de grandes plaques d'acier avec des boutons poussoirs, des potentiomètres, des voyants et parfois quelques galvanomètres montés parmis tout cela. Ils présentent beaucoup d'avantages, les boutons sont beaucoup plus robustes qu'un clavier d'ordinateur, ils sont aussi suffisamment gros pour être manipulés tout en regardant autre chose, par exemple l'outil. Cependant, ils ont aussi des inconvénients. Ils occupent beaucoup de place sur le panneau, qui doit être de grande taille, ils sont chers et leur câblage vers le PC peut utiliser beaucoup de broches d'entrée/sortie. C'est là que le panneau virtuel entre en scène.

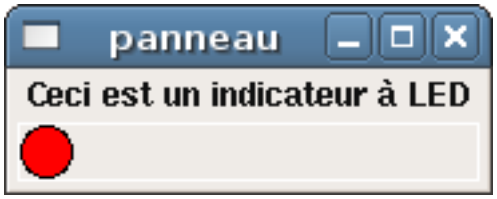
Un panneau virtuel de contrôle (VCP) est une fenêtre, sur l'écran de l'ordinateur, avec des boutons, des galvanomètres, des potentiomètres, des interrupteurs, etc. Quand vous cliquez sur un bouton du VCP, il change d'état une pin de HAL, exactement comme si vous aviez pressé sur un bouton physique raccordé à une broche d'entrée d'un périphérique d'entrée. De même, une led VCP s'allume lorsque la pin de HAL devient VRAIE, tout comme un voyant physique à lampe, raccordé à une broche de sortie d'un périphérique de sortie. Les panneaux virtuels de contrôle ne sont pas destinés à remplacer les panneaux physiques, parfois il n'y a pas de substitut à un bon gros bouton poussoir étanche aux huiles. Mais les panneaux virtuels peuvent être utilisés pour tester ou contrôler des fonctionnalités qui ne requiert ainsi, ni bouton ni voyant physique et qui remplacent temporairement des organes physiques réels d'entrée/sortie, par exemple, pendant la phase de déboguage du programme. Ou pour simuler un panneau de contrôle physique avant qu'il ne soit fabriqué, câblé et raccordé à une carte d'entrée/sortie.

Actuellement il y a deux implémentations de VCP dans EMC2 : L'ancien, simplement nommé VCP, qui utilise les widgets de GTK et le nouveau appelé pyVCP, qui utilise les widgets Tkinter. VCP n'est plus recommandé, il ne doit plus être utilisé, il sera supprimé dans l'avenir.

8.2 pyVCP

La disposition d'un panneau pyVCP est spécifiée avec un fichier XML qui contient les balises des widgets entre <pyvcp> et </pyvcp>. Par exemple :

```
<pyvcp>
    <label text="Ceci est un indicateur à LED"/>
    <led/>
</pyvcp>
```



Si vous placez ce texte dans un fichier nommé tiny.xml et que vous le lancez avec :

```
pyvcp -c panneau tiny.xml
```

pyVCP va créer le panneau pour vous, il y inclut deux widgets, un Label avec le texte “Ceci est un indicateur à LED” et une LED rouge, utilisée pour afficher l’état d’un signal HAL de type BIT. Il va aussi créer un composant HAL nommé “panneau” (tous les widgets dans ce panneau sont connectés aux pins qui démarrent avec “panneau”). Comme aucune balise <halpin> n’était présente à l’intérieur de la balise <led>, pyVCP nomme automatiquement la pin HAL pour le widget LED panneau.led.0

Pour obtenir la liste des widgets, leurs balises et options, consultez la documentation des widgets :8.5

Un fois que vous avez créé votre panneau, connecter les signaux HAL de la forme à la pin pyVCP se fait avec la commande ’halcmd linksp’ habituelle. Si vous débutez avec HAL, le tutoriel de HAL 2 est vivement recommendé.

8.3 Sécurité avec pyVCP

Certaines parties de pyVCP sont évaluées comme du code Python, elles peuvent donc produirent n’importe quelle action disponible dans les programmes Python. N’utilisez que des fichiers pyVCP en .xml à partir d’une source de confiance.

8.4 Utiliser pyVCP avec AXIS

Puisque AXIS utilise le même environnement graphique et les même outils (Tkinter) que pyVCP, il est possible d’inclure un panneau pyVCP sur le côté droit de l’interface utilisateur normale d’AXIS. Un exemple typique est présenté ci-dessous.

Placer le fichier pyVCP XML décrivant le panneau dans le même répertoire que le fichier .ini. Nous voulons afficher la vitesse courante de la broche sur un widget barre de progression. Copier le code XML suivant dans un fichier appelé broche.xml :

```
<pyvcp>
    <label>
        <text>"Vitesse broche :"</text>
    </label>
    <bar>
        <halpin>"spindle-speed"</halpin>
        <max_>5000</max_>
    </bar>
</pyvcp>
```

Ici nous avons fait un panneau avec un label “Vitesse broche :” et un widget barre de progression. Nous avons spécifié que la pin HAL connectée à la barre de progression devait s’appeler “spindle-speed” et réglé la valeur maximum de la barre à 5000 (se reporter à la documentation des widgets, plus loin, pour toutes les options disponibles). Pour faire connaître ce fichier à AXIS et qu’il l’appelle au démarrage, nous devons préciser ce qui suit dans la section [DISPLAY] du fichier .ini :

```
PYVCP = broche.xml
```

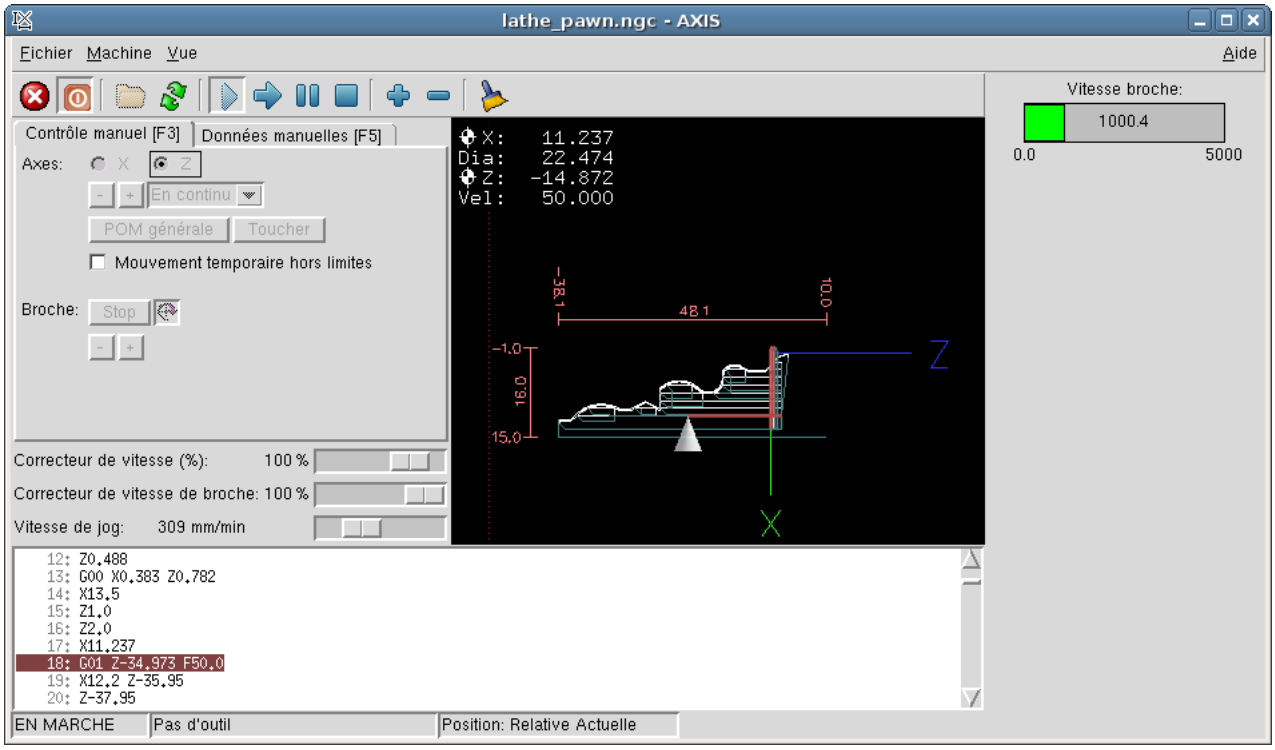
Pour que notre widget affiche réellement la vitesse de la broche “spindle-speed”, il doit être raccordé au signal approprié de HAL. Le fichier .hal qui sera exécuté quand AXIS et pyVCP démarreront doit être spécifié, de la manière suivante, dans la section [HAL] du fichier .ini :

```
POSTGUI_HALFILE = broche_vers_pyvcp.hal
```

Ce changement lancera la commande HAL spécifiée dans “broche_vers_pyvcp.hal”. Dans notre exemple, ce fichier contiendra juste la commande suivante :

```
linksp spindle-rpm-filtered  pyvcp.spindle-speed
```

ce qui suppose que le signal appelé “spindle-rpm-filtered” existe aussi. Noter que lors de l’exécution avec AXIS, toutes les pins des widgets de pyVCP ont des noms commençant par “pyvcp.”.



Voila à quoi ressemble le panneau pyVCP que nous venons de créer, incorporé à AXIS. La configuration `sim/lathe` fournie en exemple, est configurée de cette manière.

8.5 Documentation des widgets de pyVCP

Les signaux de HAL existent en deux variantes, BIT et FLOAT. pyVCP peut afficher la valeur d’un signal avec un widget indicateur, ou modifier la valeur d’un signal avec un widget de contrôle. Ainsi, il y a quatre classes de widgets pyVCP connectables aux signaux de HAL. Une cinquième classe de widgets d’aide permet d’organiser et d’appliquer des labels aux panneaux.

1. Widgets de signalisation, signaux BIT : LED
2. Widgets de contrôle, signaux BIT : Button, Checkbutton, Radiobutton
3. Widgets de signalisation, signaux FLOAT : Number, Bar, Meter
4. Widgets de contrôle, signaux FLOAT : Spinbox, Scale, Jogwheel
5. Widgets d’aide : Hbox, Vbox, Table, Label, Labelframe

8.5.0.1 Syntaxe

Chaque widget est décrit brièvement, suivi par la forme d'écriture utilisée et d'une capture d'écran. Toutes les balises contenues dans la balise du widget principal, sont optionnelles.

8.5.0.2 Notes générales

Ã l'heure actuelle, les deux syntaxes, basée sur les balises et basée sur les attributs, sont supportées. Par exemple, les deux fragments de code XML suivants sont traités de manière identique :

```
<led halpin="ma-led"/>
```

et

```
<led><halpin>"ma-led"</halpin></led>
```

Quand la syntaxe basée sur les attributs est utilisée, les règles suivantes sont utilisées pour convertir les valeurs des attributs en valeurs Python :

1. Si le premier caractère de l'attribut est un des suivants : `{([" '` , Il est évalué comme une expression Python.
2. Si la chaine est acceptée par int(), la valeur est traitée comme un entier.
3. Si la chaine est acceptée par float(), la valeur est traitée comme un flottant.
4. Autrement, la chaine est acceptée comme une chaine.

Quand la syntaxe basée sur les balises est utilisée, le texte entre les balises est toujours évalué comme un expression Python.

Les exemples ci-dessous montrent un mélange des deux formats.

8.5.1 LED

Une LED est utilisée pour indiquer l'état d'un signal BIT. La couleur de la LED sera on_color quand le signal BIT est vrai et off_color autrement.

```
<led>
    <halpin>"ma-led"</halpin>
    <size>50</size>
    <on_color>"bleue"</on_color>
    <off_color>"noire"</off_color>
</led>
```

<halpin> définit le nom de la pin, par défaut : "led.n", où n est un entier
<size> définit la taille de la led, par défaut : 20
<on_color> définit la couleur de la led LED quand la pin est vraie, par défaut : "green"
<off_color> définit la couleur de la LED quand la pin est fausse, par défaut : "ref"

8.5.2 Bouton (button)

Un bouton permet de contrôler une pin BIT. La pin sera mise vraie quand le bouton sera pressé et maintenu enfoncé, elle sera mise fausse quand le bouton sera relâché.

```
<button>
    <halpin>"mon-button"</halpin>
    <text>"OK"</text>
</button>
```

8.5.3 Case à cocher (checkbutton)

Une case à cocher contrôle une pin BIT. La pin sera mise vraie quand la case sera cochée et fausse si la case est décochée.

```
<checkbutton>
    <halpin>"ma-case-à-cocher"</halpin>
</checkbutton>
```

Une case non cochée :  et une case cochée : 

8.5.4 Bouton radio (radiobutton)

Un bouton radio placera une seule des pins BIT vraie. Les autres seront mises fausses.

```
<radiobutton>
    <choices>["un","deux","trois"]</choices>
    <halpin>"mon-bouton-radio"</halpin>
</radiobutton>
```

Noter que dans cet exemple, les pins de HAL seront nommées mon-bouton-radio.un, mon-bouton-radio.deux et mon-bouton-radio.trois. Dans la capture d'écran, la valeur "trois" est sélectionnée.

8.5.5 Nombre (number)

Le widget nombre affiche la valeur d'un signal FLOAT.

```
<number>
    <halpin>"mon-nombre"</halpin>
    <font>('Helvetica',50)</font>
    <format>"+4.3f"</format>
</number>
```

<font> est une police de caractères de type Tkinter avec la spécification de sa taille. Noter que sous Ubuntu 6.06 'Helvetica' n'est pas disponible en taille supérieure à 40 ou 50. Une police qui peut être agrandie jusqu'à la taille 200 est la police 'courier 10 pitch', que vous pouvez spécifier de la manière suivante, pour afficher des chiffres réellement grands :

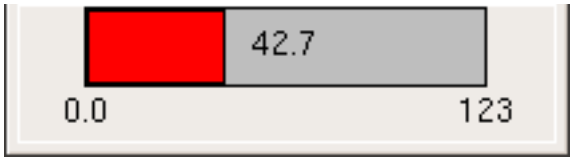
```
<font>('courier 10 pitch',100)</font>
```

<format> est un format 'style C', spécifié pour définir le format d'affichage du nombre.

8.5.6 Barre de progression (bar)

Le widget barre de progression affiche la valeur d'un signal FLOAT, graphiquement dans une barre de progression et simultanément, en numérique.

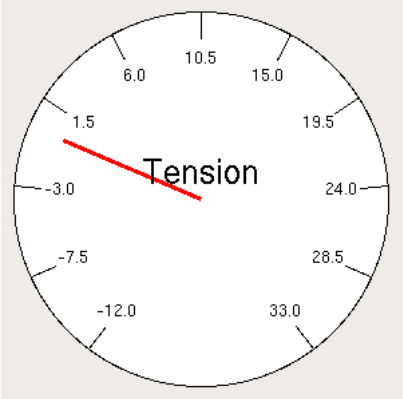
```
<bar>
    <halpin>"ma-bar"</halpin>
    <min_>0</min_>
    <max_>123</max_>
    <bgcolor>"grey"</bgcolor>
    <fillcolor>"red"</fillcolor>
</bar>
```



8.5.7 Galvanomètre (meter)

Le galvanomètre affiche la valeur d'un signal FLOAT dans un affichage à aiguille "à l'ancienne".

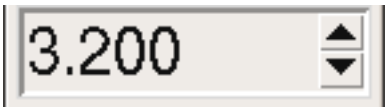
```
<meter>
    <halpin>"mon-galva"</halpin>
    <text>"Tension"</text>
    <size>300</size>
    <min_>-12</min_>
    <max_>33</max_>
</meter>
```



8.5.8 Roue codeuse (spinbox)

La roue codeuse contrôle une pin FLOAT. La valeur de la pin est augmentée ou diminuée de la valeur de 'resolution', à chaque pression sur une flèche, ou en positionnant la souris sur le nombre puis en tournant la molette de la souris.

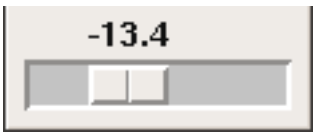
```
<spinbox>
    <halpin>"ma-roue-codeuse"</halpin>
    <min_>-12</min_>
    <max_>33</max_>
    <resolution>0.1</resolution>
    <format>"2.3f"</format>
    <font>('Arial',30)</font>
</spinbox>
```



8.5.9 Curseur (scale)

Le curseur contrôle une pin FLOAT. La valeur de la pin est augmentée ou diminuée en déplaçant le curseur, ou en positionnant la souris sur le curseur puis en tournant la molette de la souris.

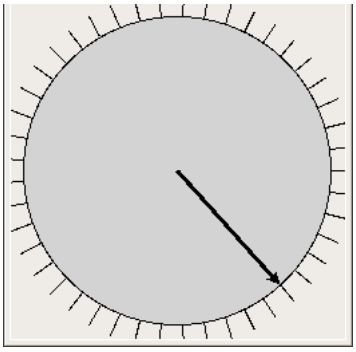
```
<scale>
    <halpin>"mon-curseur"</halpin>
    <resolution>0.1</resolution>
    <orient>HORIZONTAL</orient>
    <min_>-33</min_>
    <max_>26</max_>
</scale>
```



8.5.10 Bouton tournant (jogwheel)

Le bouton tournant imite le fonctionnement d'un vrai bouton tournant, en sortant sur une pin FLOAT la valeur sur laquelle est positionné le bouton, que ce soit en le faisant tourner avec un mouvement circulaire, ou en tournant la molette de la souris.

```
<jogwheel>
    <halpin>"mon-bouton-tournant"</halpin>
    <cpr>45</cpr>
    <size>250</size>
</jogwheel>
```



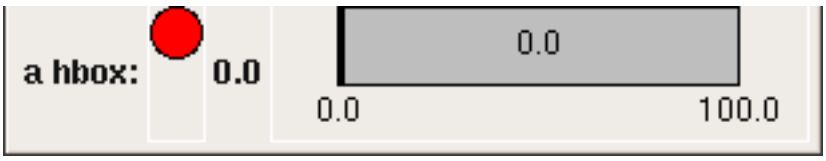
8.6 Documentation des containers de pyVCP

Les containers sont des widgets qui contiennent d'autres widgets.

8.6.1 Hbox

Utilisez une Hbox lorsque vous voulez aligner les widgets, horizontalement, les uns à côtés des autres.

```
<hbox>
    <label><text>"une hbox :"</text></label>
    <led></led>
    <number></number>
    <bar></bar>
</hbox>
```

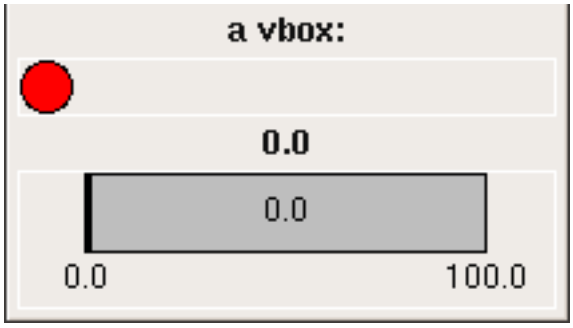


Ã l'intérieur d'une Hbox, vous pouvez utiliser les balises `<boxfill fill=""/>`, `<boxanchor anchor=""/>` et `<boxexpand expand=""/>` pour choisir le comportement des éléments contenus dans la boîte, lors d'un redimensionnement de la fenêtre. Pour des détails sur le comportement de fill, anchor, et expand, référez vous au manuel du pack Tk, `pack(3tk)`. Par défaut, `fill='y'`, `anchor='center'`, `expand='yes'`.

8.6.2 Vbox

Utilisez une Vbox lorsque vous voulez aligner les widgets verticalement, les uns au dessus des autres.

```
<vbox>
    <label><text>"une vbox :"</text></label>
    <led></led>
    <number></number>
    <bar></bar>
</vbox>
```



Ã l'intérieur d'une Hbox, vous pouvez utiliser les balises `<boxfill fill=""/>`, `<boxanchor anchor=""/>` et `<boxexpand expand=""/>` pour choisir le comportement des éléments contenus dans la boîte, lors d'un redimensionnement de la fenêtre. Pour des détails sur le comportement de fill, anchor, et expand, référez vous au manuel du pack Tk, `pack(3tk)`. Par défaut, `fill='y'`, `anchor='center'`, `expand='yes'`.

8.6.3 Label

Un label est un texte qui s'affiche sur le panneau.

```
<label>
    <text>"Ceci est un label :"</text>
    <font>('Helvetica',20)</font>
</label>
```

8.6.4 Labelframe

Un labelframe est un cadre entouré d'un sillon et un label en haut à gauche.

```
<labelframe text="Label : Leds groupées">
  <hbox>
    <led/> <led/></led>
  </hbox>
</labelframe>
```

8.6.5 Table

Une table est un container qui permet d'écrire dans une grille de lignes et de colonnes. Chaque ligne débute avec la balise `<tablerow/>`. Un widget container peut être en lignes ou en colonnes par l'utilisation de la balise `<tablespan rows= cols=/>`. Les bordures des cellules contenant les widgets "sticky" peuvent être réglées grâce à l'utilisation de la balise `<tablesticky sticky=/>`. Une table peut s'étirer sur ses lignes et colonnes flexibles (sticky).

Exemple :

```
<table flexible_rows="[2]" flexible_columns="[1,4]">
   <tablesticky sticky="new"/>
   <tablerow/>
    <label text="A (cell 1,1)"/>
```

```
    <label text="B (cell 1,2)"/>
    <tablespan columns="2"/><label text="C, D (cells 1,3 and 1,4)">
   <tablerow/>
    <label text="E (cell 2,1)"/>
    <tablesticky sticky="nsew"/><tablespan rows="2"/>
        <label text="'spans\n2 rows'"/>
    <tablesticky sticky="new"/><label text="G (cell 2,3)"/>
    <label text="H (cell 2,4)"/>
   <tablerow/>
    <label text="J (cell 3,1)"/>
    <label text="K (cell 3,2)"/>
    <label text="M (cell 3,4)"/>
</table>
```

8.7 VCP : Un petit exemple

NOTE : VCP n'est plus conseillé et ne devrait plus faire l'objet de nouveaux développements ou de widgets supplémentaires. Il est fortement recommandé d'utiliser pyVCP. Cependant, pyVCP ne sera mis à jour que pour la publication de la version 2.2 et VCP est en version 2.1. Ce qui signifie que tant que des utilisateurs utilisent encore VCP, nous ne pouvons pas simplement l'arrêter.[1]

Placer les lignes suivantes dans un fichier nommé `tiny.vcp` :

```
vcp {
 main-window {
   box {
     button {
       halpin = vcp.pushbutton
       label { text = "Pressez moi" }
     }
     LED {
       halpin = vcp.light
     }
   }
 }
}
```

Le fichier ci-dessus, décrit un minuscule panneau de contrôle virtuel, avec un bouton poussoir et une lampe. Pour voir à quoi il ressemble, il faut démarrer HAL :

```
$ halrun
```

Ensuite il faut charger halvcp et lui passer le nom de notre fichier .vcp :

```
halcmd : loadusr halvcp tiny.vcp
halcmd :
```

Il peut y avoir quelques messages affichés pendant que halvcp ouvre le fichier tiny.vcp, mais pour finir, il devrait y avoir une petite fenêtre sur votre écran, avec un bouton et une LED. Il devrait ressembler à la figure 8.1.

Donc, nous avons un bouton et un voyant à LED, mais ils ne sont connectés à rien, de sorte que rien ne se passe quand vous appuyez sur le bouton. Cependant, la LED et le bouton ont tous les deux des pins HAL associées avec eux, pour les voir :

[1] Un traducteur .vcp vers .xml qui prend un fichier VCP et le converti en pyVCP utilisable est sur ma liste "à faire". Il permettrait aux utilisateurs de VCP de migrer facilement vers pyVCP. Si un tel traducteur est écrit, VCP pourra être retiré à partir des versions 2.2.

FIG. 8.1 – L'écran de tiny.vcp

```
halcmd : show pin
Component Pins :
Owner  Type  Dir     Value      Name
 03    bit   IN      FALSE      vcp.light
 03    bit   OUT     FALSE      vcp.pushbutton
halcmd :
```

Pour que quelque chose se produise, il faut connecter un signal HAL entre le bouton et la lampe :

```
halcmd : newsig jumper bit
halcmd : linksp jumper vcp.pushbutton
halcmd : linksp jumper vcp.light
halcmd : show sig
Signals :
Type      Value      Name
bit       FALSE      jumper
                         ==> vcp.light
                         <== vcp.pushbutton
halcmd :
```

Maintenant pressez le bouton et la LED doit s'allumer!

8.8 VCP : Un autre petit exemple avec EMC

Placer les lignes suivantes dans un fichier nommé `estop.vcp` :

```
vcp {
   main-window {
      toggle { halpin = vcp.estop }
   }
}
```

Dans votre fichier .hal, enlevez tout ce qui est lié avec `iocontrol.0.emc-enable-in` et ajoutez-y les lignes suivantes :

```
loadusr -W halvcp estop.vcp
newsig estop bit
linkps vcp.estop => estop
linkps estop => iocontrol.0.emc-enable-in
```

Maintenant, quand vous démarrez votre machine, le bouton d'arrêt d'urgence de l'interface graphique est désactivé, il est remplacé par le bouton d'arrêt d'urgence du panneau VCP.

8.9 Syntaxe VCP

8.9.1 Block

Le format de block est le suivant :

```
balise { contenu }
```

Le contenu peut se composer d'attributs qui décrivent le block, ou d'autres blocks imbriqués dedans.

Le format des attributs est

```
nom = valeur
```

Les noms des attributs acceptables pour chaque block, dépendent dela balise block et seront listés ultérieurement.

Troisième partie

Programmer HAL

Chapter 9

comp: a tool for creating HAL modules

9.1 Introduction

Writing a HAL component can be a tedious process, most of it in setup calls to `rtapi_` and `hal_` functions and associated error checking. *comp* will write all this code for you, automatically.

Compiling a HAL component is also much easier when using *comp*, whether the component is part of the emc2 source tree, or outside it.

For instance, the "ddt" portion of `blocks` is around 80 lines of code. The equivalent component is very short when written using the *comp* preprocessor:

```
component ddt "Compute the derivative of the input function";
pin in float in;
pin out float out;
variable float old;
function _;
license "GPL";
;;
float tmp = in;
out = (tmp - old) / fperiod;
old = tmp;
```

and it can be compiled and installed very easily: by simply placing `ddt.comp` in `src/hal/components` and running '`make`', or by placing it anywhere on the system and running `comp --install ddt.comp`

9.2 Definitions

component A component is a single real-time module, which is loaded with `halcmd loadrt`. One `.comp` file specifies one component.

instance A component can have zero or more instances. Each instance of a component is created equal (they all have the same pins, parameters, functions, and data) but behave independently when their pins, parameters, and data have different values.

singleton It is possible for a component to be a 'singleton', in which case exactly one instance is created. It seldom makes sense to write a `singleton` component, unless there can literally only be a single object of that kind in the system (for instance, a component whose purpose is to provide a pin with the current UNIX time, or a hardware driver for the internal PC speaker)

9.3 Instance creation

For a singleton, the one instance is created when the component is loaded.

For a non-singleton, the 'count' module parameter determines how many numbered instances are created.

9.4 Syntax

A .comp file consists of a number of declarations, followed by ;; on a line of its own, followed by C code implementing the module's functions.

Declarations include:

- component *HALNAME (DOC)*;
- pin *PINDIRECTION TYPE HALNAME* ([*SIZE*]|[*MAXSIZE* : *CONDSIZE*]) (if *CONDITION*) (= *STARTVALUE*) (*DOC*);
- param *PARAMDIRECTION TYPE HALNAME* ([*SIZE*]|[*MAXSIZE* : *CONDSIZE*]) (if *CONDITION*) (= *STARTVALUE*) (*DOC*) ;
- function *HALNAME* (fp | nofp) (*DOC*);
- option *OPT* (*VALUE*);
- variable *CTYPE NAME* ([*SIZE*]);
- description DOC;
- see_also DOC;
- license LICENSE;

Parentheses indicate optional items. A vertical bar indicates alternatives. Words in *CAPITALS* indicate variable text, as follows:

HALNAME An identifier.

When used to create a HAL identifier, any underscores are replaced with dashes, and any trailing dash or period is removed, so that "this_name_" will be turned into "this-name", and if the name is "_", then a trailing period is removed as well, so that "function _" gives a HAL function name like component.<num> instead of component.<num>.

If present, the prefix hal_ is removed from the beginning of the component name when creating pins, parameters and functions.

In the HAL identifier for a pin or parameter, # denotes an array item, and must be used in conjunction with a [SIZE] declaration. The hash marks are replaced with a 0-padded number with the same length as the number of # characters.

When used to create a C identifier, the following changes are applied to the HALNAME:

1. Any # characters, and any ".", "_" or "-" characters immediately before them, are removed.
2. Any remaining "." and "-" characters are replaced with "_"
3. Repeated "_" characters are changed to a single "_" character.

A trailing _ is retained, so that HAL identifiers which would otherwise collide with reserved names or keywords (e.g., 'min') can be used.

HALNAME	C Identifier	HAL Identifier
x_y_z	x_y_z	x-y-z
x-y.z	x_y_z	x-y.z
x_y_z_	x_y_z	x-y-z
x.##.y	x_y(MM)	x.MM.z
x.##	x(MM)	x.MM

if CONDITION An expression involving the variable *personality* which is nonzero when the pin or parameter should be created

SIZE A number that gives the size of an array. The array items are numbered from 0 to *SIZE*-1.

MAXSIZE : CONDSIZE A number that gives the maximum size of the array followed by an expression involving the variable *personality* and which always evaluates to less than *MAXSIZE*. When the array is created its size will be *CONDSIZE*.

DOC A string that documents the item. String can be a C-style "double quoted" string, like `"Selects the desired edge: TRUE means falling, FALSE means rising"` or a Python-style "triple quoted" string, which may include embedded newlines and quote characters, such as:

```
param rw bit zot=TRUE
"""The effect of this parameter, also known as "the orb of zot",
will require at least two paragraphs to explain.

Hopefully these paragraphs have allowed you to understand "zot"
better.""";
```

The documentation string is in "groff -man" format. For more information on this markup format, see `groff_man(7)`. Remember that comp interprets backslash escapes in strings, so for instance to set the italic font for the word *example*, write `"\\fIexample\\fB"`.

TYPE One of the HAL types: `bit`, `signed`, `unsigned`, or `float`. The old names `s32` and `u32` may also be used, but `signed` and `unsigned` are preferred.

PINDIRECTION One of the following: `in`, `out`, or `io`. A component sets a value for an `out` pin, it reads a value from an `in` pin, and it may read or set the value of an `io` pin.

PARAMDIRECTION One of the following: `r` or `rw`. A component sets a value for a `r` parameter, and it may read or set the value of a `rw` parameter.

STARTVALUE Specifies the initial value of a pin or parameter. If it is not specified, then the default is `0` or `FALSE`, depending on the type of the item.

fp Indicates that the function performs floating-point calculations.

nofp Indicates that it only performs integer calculations. If neither is specified, `fp` is assumed. Neither comp nor gcc can detect the use of floating-point calculations in functions that are tagged `nofp`.

OPT, VALUE Depending on the option name OPT, the valid VALUEs vary. The currently defined options are:

option singleton yes (default: no)

Do not create a `count` module parameter, and always create a single instance. With `singleton`, items are named `component-name.item-name` and without `singleton`, items for numbered instances are named `component-name.<num>.item-name`.

option default_count *number* (default: 1)

Normally, the module parameter `count` defaults to 0. If specified, the `count` will default to this value instead.

option count_function yes (default: no)

Normally, the number of instances to create is specified in the module parameter `count`; if `count_function` is specified, the value returned by the function `int get_count(void)` is used instead, and the `count` module parameter is not defined.

option rtapi_app no (default: yes)

Normally, the functions `rtapi_app_main` and `rtapi_app_exit` are automatically defined. With `option rtapi_app no`, they are not, and must be provided in the C code.

When implementing your own `rtapi_app_main`, call the function `int export(char *prefix, long extra_arg)` to register the pins, parameters, and functions for `prefix`.

option data *type* (default: none) **DEPRECATED**

If specified, each instance of the component will have an associated data block of *type* (which can be a simple type like `float` or the name of a type created with `typedef`).

In new components, *variable* should be used instead.

option extra_setup yes (default: no)

If specified, call the function defined by `EXTRA_SETUP` for each instance. If using the automatically defined `rtapi_app_main`, `extra_arg` is the number of this instance.

option extra_cleanup yes (default: no)

If specified, call the function defined by `EXTRA_CLEANUP` from the automatically defined `rtapi_app_exit`, or if an error is detected in the automatically defined `rtapi_app_main`.

option userspace yes (default: no)

If specified, this file describes a userspace component, rather than a real one. A userspace component may not have functions defined by the `function` directive. Instead, after all the instances are constructed, the C function `user_mainloop()` is called. When this function returns, the component exits. Typically, `user_mainloop()` will use `FOR_ALL_INSTS()` to perform the update action for each instance, then sleep for a short time. Another common action in `user_mainloop()` may be to call the event handler loop of a GUI toolkit.

option userinit yes (default: no)

If specified, the function `userinit(argc,argv)` is called before `rtapi_app_main()` (and thus before the call to `hal_init()`). This function may process the commandline arguments or take other actions. Its return type is `void`; it may call `exit()` if it wishes to terminate rather than create a hal component (for instance, because the commandline arguments were invalid).

If an option's VALUE is not specified, then it is equivalent to specifying `option ... yes`. The result of assigning an inappropriate value to an option is undefined. The result of using any other option is undefined.

LICENSE Specify the license of the module, for the documentation and for the MODULE_LICENSE() module declaration.

9.5 Per-instance data storage

variable *CTYPE NAME*;

variable *CTYPE NAME*[*SIZE*];

variable *CTYPE NAME* = *DEFAULT*;

variable *CTYPE NAME*[*SIZE*] = *DEFAULT*;

Declare a per-instance variable *NAME* of type *CTYPE*, optionally as an array of *SIZE* items, and optionally with a default value *DEFAULT*. Items with no *DEFAULT* are initialized to all-bits-zero. *CTYPE* is a simple one-word C type, such as `float`, `u32`, `s32`, etc.

C++-style one-line comments (`// ...`) and C-style multi-line comments (`/* ... */`) are both supported in the declaration section.

9.6 Other restrictions on comp files

Though HAL permits a pin, a parameter, and a function to have the same name, comp does not.

9.7 Convenience Macros

Based on the items in the declaration section, *comp* creates a C structure called `struct state`. However, instead of referring to the members of this structure (e.g., `*(inst->name)`), they will generally be referred to using the macros below. The details of `struct state` and these macros may change from one version of *comp* to the next.

FUNCTION(name) Use this macro to begin the definition of a realtime function which was previously declared with '`function NAME`'. The function includes a parameter '`period`' which is the integer number of nanoseconds between calls to the function.

EXTRA_SETUP() Use this macro to begin the definition of the function called to perform extra setup of this instance. Return a negative Unix `errno` value to indicate failure (e.g., `return -EBUSY` on failure to reserve an I/O port), or 0 to indicate success.

EXTRA_CLEANUP() Use this macro to begin the definition of the function called to perform extra cleanup of the component. Note that this function must clean up all instances of the component, not just one. The 'pin_name', 'parameter_name', and 'data' macros may not be used here.

pin_name

parameter_name For each pin `pin_name` or param `parameter_name` there is a macro which allows the name to be used on its own to refer to the pin or parameter.

When `pin_name` or `parameter_name` is an array, the macro is of the form *pin_name(idx)* or *param_name(idx)* where *idx* is the index into the pin array. When the array is a variable-sized array, it is only legal to refer to items up to its *condsize*.

When the item is a conditional item, it is only legal to refer to it when its *condition* evalued to a nonzero value.

variable_name For each variable `variable_name` there is a macro which allows the name to be used on its own to refer to the variable. When `variable_name` is an array, the normal C-style subscript is used: *variable_name[idx]*

data If 'option data' is specified, this macro allows access to the instance data.

fperiod The floating-point number of seconds between calls to this realtime function.

FOR_ALL_INSTS() {...} For userspace components. This macro uses the variable `struct state *inst` to iterate over all the defined instances. Inside the body of the loop, the ***pin_name***, ***parameter_name***, and **data** macros work as they do in realtime functions.

9.8 Components with one function

If a component has only one function and the string "FUNCTION" does not appear anywhere after `;;`, then the portion after `;;` is all taken to be the body of the component's single function.

9.9 Component "Personality"

If a component has any pins or parameters with an "if *condition*" or "[*maxsize : condsize*]", it is called a component with "*personality*". The "personality" of each instance is specified when the module is loaded. "Personality" can be used to create pins only when needed. For instance, personality is used in the `logic` component, to allow for a variable number of input pins to each logic gate and to allow for a selection of any of the basic boolean logic functions **and**, **or**, and **xor**.

9.10 Compiling `.comp` files in the source tree

Place the `.comp` file in the source directory `emc2/src/hal/components` and re-run `make`. `Comp` files are automatically detected by the build system.

If a `.comp` file is a driver for hardware, it may be placed in `emc2/src/hal/components` and will be built except if emc2 is configured as a userspace simulator.

9.11 Compiling realtime components outside the source tree

`comp` can process, compile, and install a realtime component in a single step, placing `rtexample.ko` in the emc2 realtime module directory:

```
comp --install rtexample.comp
```

Or, it can process and compile in one step, leaving `example.ko` (or `example.so` for the simulator) in the current directory:

```
comp --compile rtexample.comp
```

Or it can simply process, leaving `example.c` in the current directory:

```
comp rtexample.comp
```

`comp` can also compile and install a component written in C, using the `--install` and `--compile` options shown above:

```
comp --install rtexample2.c
```

man-format documentation can also be created from the information in the declaration section:

```
comp --document rtexample.comp
```

The resulting manpage, `example.9` can be viewed with

```
man ./example.9
```

or copied to a standard location for manual pages.

9.12 Compiling userspace components outside the source tree

`comp` can process, compile, install, and document userspace components:

```
comp usrexample.comp
comp --compile usrexample.comp
comp --install usrexample.comp
comp --document usrexample.comp
```

This only works for `.comp` files, not for `.c` files.

9.13 Examples

9.13.1 constant

This component functions like the one in 'blocks', including the default value of 1.0. The declaration "function _" creates functions named 'constant.0', etc.

```
component constant;
pin out float out;
param r float value = 1.0;
function _;
option extra_setup yes;
;;
FUNCTION(_) { out = value; }
```

9.13.2 sincos

This component computes the sine and cosine of an input angle in radians. It has different capabilities than the 'sine' and 'cosine' outputs of siggen, because the input is an angle, rather than running freely based on a 'frequency' parameter.

The pins are declared with the names `sin_` and `cos_` in the source code so that they do not interfere with the functions `sin()` and `cos()`. The HAL pins are still called `sincos.<num>.sin`.

```
component sincos;
pin out float sin_;
pin out float cos_;
pin in float theta;
function _;
;;
#include <rtapi_math.h>
FUNCTION(_) { sin_ = sin(theta); cos_ = cos(theta); }
```

9.13.3 out8

This component is a driver for a *fictional* card called "out8", which has 8 pins of digital output which are treated as a single 8-bit value. There can be a varying number of such cards in the system, and they can be at various addresses. The pin is called `out_` because `out` is an identifier used in `<asm/io.h>`. It illustrates the use of `EXTRA_SETUP` and `EXTRA_CLEANUP` to request an I/O region and then free it in case of error or when the module is unloaded.

```
component out8;
pin out unsigned out_ "Output value; only low 8 bits are used";
param r unsigned ioaddr;

function _;

option count_function;
option extra_setup;
option extra_cleanup;
option constructable no;

;;
#include <asm/io.h>

#define MAX 8
```

```
int io[MAX] = {0,};
RTAPI_MP_ARRAY_INT(io, MAX, "I/O addresses of out8 boards");

int get_count(void) {
    int i = 0;
    for(i=0; i<MAX && io[i]; i++) { /* Nothing */ }
    return i;
}

EXTRA_SETUP() {
    if(!rtapi_request_region(io[extra_arg], 1, "out8")) {
// set this I/O port to 0 so that EXTRA_CLEANUP does not release the IO
// ports that were never requested.
        io[extra_arg] = 0;
        return -EBUSY;
    }
    ioaddr = io[extra_arg];
    return 0;
}

EXTRA_CLEANUP() {
    int i;
    for(i=0; i < MAX && io[i]; i++) {
        rtapi_release_region(io[i], 1);
    }
}

FUNCTION(_) { outb(out_, ioaddr); }
```

9.13.4 hal_loop

```
component hal_loop;
pin out float example;
```

This fragment of a component illustrates the use of the `hal_` prefix in a component name. `loop` is the name of a standard Linux kernel module, so a `loop` component might not successfully load if the Linux `loop` module was also present on the system.

When loaded, `halcmd show comp` will show a component called `hal_loop`. However, the pin shown by `halcmd show pin` will be `loop.0.example`, not `hal-loop.0.example`.

9.13.5 arraydemo

This realtime component illustrates use of fixed-size arrays:

```
component arraydemo "4-bit Shift register";
pin in bit in;
pin out bit out-# [4];
function _ nofp;
;;
int i;
for(i=3; i>0; i--) out(i) = out(i-1);
out(0) = in;
```

9.13.6 rand

This userspace component changes the value on its output pin to a new random value in the range $[0, 1)$ about once every 1ms.

```
component rand;
option userspace;

pin out float out;
;;
#include <unistd.h>

void user_mainloop(void) {
    while(1) {
        usleep(1000);
        FOR_ALL_INSTS() out = drand48();
    }
}
```

9.13.6.1 logic

This realtime component shows how to use "personality" to create variable-size arrays and optional pins.

```
component logic;
pin in bit in-##[16 : personality & 0xff];
pin out bit and if personality & 0x100;
pin out bit or if personality & 0x200;
pin out bit xor if personality & 0x400;
function _ nofp;
description """
Experimental general 'logic function' component.  Can perform 'and', 'or'
and 'xor' of up to 16 inputs.  Determine the proper value for 'personality'
by adding:
.IP \\(bu 4
The number of input pins, usually from 2 to 16
.IP \\(bu
256 (0x100)  if the 'and' output is desired
.IP \\(bu
512 (0x200)  if the 'or' output is desired
.IP \\(bu
1024 (0x400)  if the 'xor' (exclusive or) output is desired""";
license "GPL";
;;
FUNCTION(_) {
    int i, a=1, o=0, x=0;
    for(i=0; i < (personality & 0xff); i++) {
        if(in(i)) { o = 1; x = !x; }
        else { a = 0; }
    }
    if(personality & 0x100) and = a;
    if(personality & 0x200) or = o;
    if(personality & 0x400) xor = x;
}
```

A typical load line for this component might be

```
loadrt logic count=3 personality=0x102,0x305,0x503
```

which creates the following pins:

- A 2-input AND gate: logic.0.and, logic.0.in-00, logic.0.in-01
- 5-input AND and OR gates: logic.1.and, logic.1.or, logic.1.in-00, logic.1.in-01, logic.1.in-02, logic.1.in-03, logic.1.in-04,
- 3-input AND and XOR gates: logic.2.and, logic.2.xor, logic.2.in-00, logic.2.in-01, logic.2.in-02

Chapter 10

Creating Userspace Python Components with the 'hal' module

10.1 Basic usage

A userspace component begins by creating its pins and parameters, then enters a loop which will periodically drive all the outputs from the inputs. The following component copies the value seen on its input pin (`passthrough.in`) to its output pin (`passthrough.out`) approximately once per second.

```
#!/usr/bin/python
import hal, time
h = hal.component("passthrough")
h.newpin("in", hal.HAL_FLOAT, hal.HAL_IN)
h.newpin("out", hal.HAL_FLOAT, hal.HAL_OUT)
h.ready()
try:
    while 1:
        time.sleep(1)
        h['out'] = h['in']
except KeyboardInterrupt:
    raise SystemExit
```

Copy the above listing into a file named "passthrough", make it executable (`chmod +x`), and place it on your `$PATH`. Then try it out:

```
$ halrun
halcmd: loadusr passthrough
halcmd: show pin
Component Pins:
Owner  Type  Dir     Value      Name
 03    float IN              0  passthrough.in
 03    float OUT             0  passthrough.out
halcmd: setp passthrough.in 3.14
halcmd: show pin
Component Pins:
Owner  Type  Dir     Value      Name
 03    float IN           3.14  passthrough.in
 03    float OUT          3.14  passthrough.out
```

10.2 Userspace components and delays

If you typed "show pin" quickly, you may see that `passthrough.out` still had its old value of 0. This is because of the call to 'time.sleep(1)', which makes the assignment to the output pin occur at most once per second. Because this is a userspace component, the actual delay between assignments can be much longer–for instance, if the memory used by the passthrough component is swapped to disk, the assignment could be delayed until that memory is swapped back in.

Thus, userspace components are suitable for user-interactive elements such as control panels (delays in the range of milliseconds are not noticed, and longer delays are acceptable), but not for sending step pulses to a stepper driver board (delays must always be in the range of microseconds, no matter what).

10.3 Create pins and parameters

```
h = hal.component("passthrough")
```

The component itself is created by a call to the constructor '`hal.component`'. The arguments are the HAL component name and (optionally) the prefix used for pin and parameter names. If the prefix is not specified, the component name is used.

```
h.newpin("in", hal.HAL_FLOAT, hal.HAL_IN)
```

Then pins are created by calls to methods on the component object. The arguments are: pin name suffix, pin type, and pin direction. For parameters, the arguments are: parameter name suffix, parameter type, and parameter direction.

Table 10.1: HAL Option Names

Pin and Parameter Types:	HAL_BIT	HAL_FLOAT	HAL_S32	HAL_U32
Pin Directions:	HAL_IN	HAL_OUT	HAL_IO	
Parameter Directions:	HAL_RO	HAL_RW		

The full pin or parameter name is formed by joining the prefix and the suffix with a ".", so in the example the pin created is called `passthrough.in`.

```
h.ready()
```

Once all the pins and parameters have been created, call the `.ready()` method.

10.3.1 Changing the prefix

The prefix can be changed by calling the `.setprefix()` method. The current prefix can be retrieved by calling the `.getprefix()` method.

10.4 Reading and writing pins and parameters

For pins and parameters which are also proper Python identifiers, the value may be accessed or set using the attribute syntax:

```
h.out = h.in
```

For all pins, whether or not they are also proper Python identifiers, the value may be accessed or set using the subscript syntax:

```
h['out'] = h['in']
```

10.4.1 Driving output (HAL_OUT) pins

Periodically, usually in response to a timer, all HAL_OUT pins should be "driven" by assigning them a new value. This should be done whether or not the value is different than the last one assigned. When a pin is connected to a signal, its old output value is not copied into the signal, so the proper value will only appear on the signal once the component assigns a new value.

10.4.2 Driving bidirectional (HAL_IO) pins

The above rule does not apply to bidirectional pins. Instead, a bidirectional pin should only be driven by the component when the component wishes to change the value. For instance, in the canonical encoder interface, the encoder component only sets the **index-enable** pin to **FALSE** (when an index pulse is seen and the old value is **TRUE**), but never sets it to **TRUE**. Repeatedly driving the pin **FALSE** might cause the other connected component to act as though another index pulse had been seen.

10.5 Exiting

A "`halcmd unload`" request for the component is delivered as a `KeyboardInterrupt` exception. When an unload request arrives, the process should either exit in a short time, or call the `.exit()` method on the component if substantial work (such as reading or writing files) must be done to complete the shutdown process.

10.6 Project ideas

- Create an external control panel with buttons, switches, and indicators. Connect everything to a microcontroller, and connect the microcontroller to the PC using a serial interface. Python has a very capable serial interface module called pyserial http://pyserial.sourceforge.net/ (Ubuntu package name "python-serial", in the universe repository)
- Attach a LCDProc http://lcdproc.omnipotent.net/-compatible LCD module and use it to display a digital readout with information of your choice (Ubuntu package name "lcdproc", in the universe repository)
- Create a virtual control panel using any GUI library supported by Python (gtk, qt, wxwindows, etc)

Appendix A

Section légale

Handbook Copyright Terms

A.1 GNU Free Documentation License Version 1.1, March 2000

A.1.1 GNU Free Documentation License Version 1.1, March 2000

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other written document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you".

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (For example, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, whose contents can be viewed and edited directly and straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup has been designed to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML designed for human modification. Opaque formats include PostScript, PDF, proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies of the Document numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a publicly-accessible computer-network location containing a complete Transparent copy of the Document, free of added material, which the general network-using public has access to download anonymously at no charge using public-standard network protocols. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission. B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has less than five). C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher. D. Preserve all the copyright notices of the Document. E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices. F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below. G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice. H. Include an unaltered copy of this License. I. Preserve the section entitled "History", and its title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence. J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission. K. In any section entitled "Acknowledgements" or "Dedications", preserve the section's title, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein. L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles. M. Delete any section entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version. N. Do not retitle any existing section as "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties–for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements."

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and

replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, does not as a whole count as a Modified Version of the Document, provided no compilation copyright is claimed for the compilation. Such a compilation is called an "aggregate", and this License does not apply to the other self-contained works thus compiled with the Document, on account of their being thus compiled, if they are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one quarter of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that surround only the Document within the aggregate. Otherwise they must appear on covers around the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License provided that you also include the original English version of this License. In case of a disagreement between the translation and the original English version of this License, the original English version will prevail.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See http:///www.gnu.org/copyleft/.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME. Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

If you have no Invariant Sections, write "with no Invariant Sections" instead of saying which ones are invariant. If you have no Front-Cover Texts, write "no Front-Cover Texts" instead of "Front-Cover Texts being LIST"; likewise for Back-Cover Texts.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

Index