Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Systèmes Embarqués 1 & 2

tp.06 - Mini-Projet Thermo-Buzzer

Classes T-2/I-2 // 2016-2017

Daniel Gachet | HEIA-FR/TIC

tp.06 | 21.12.2016

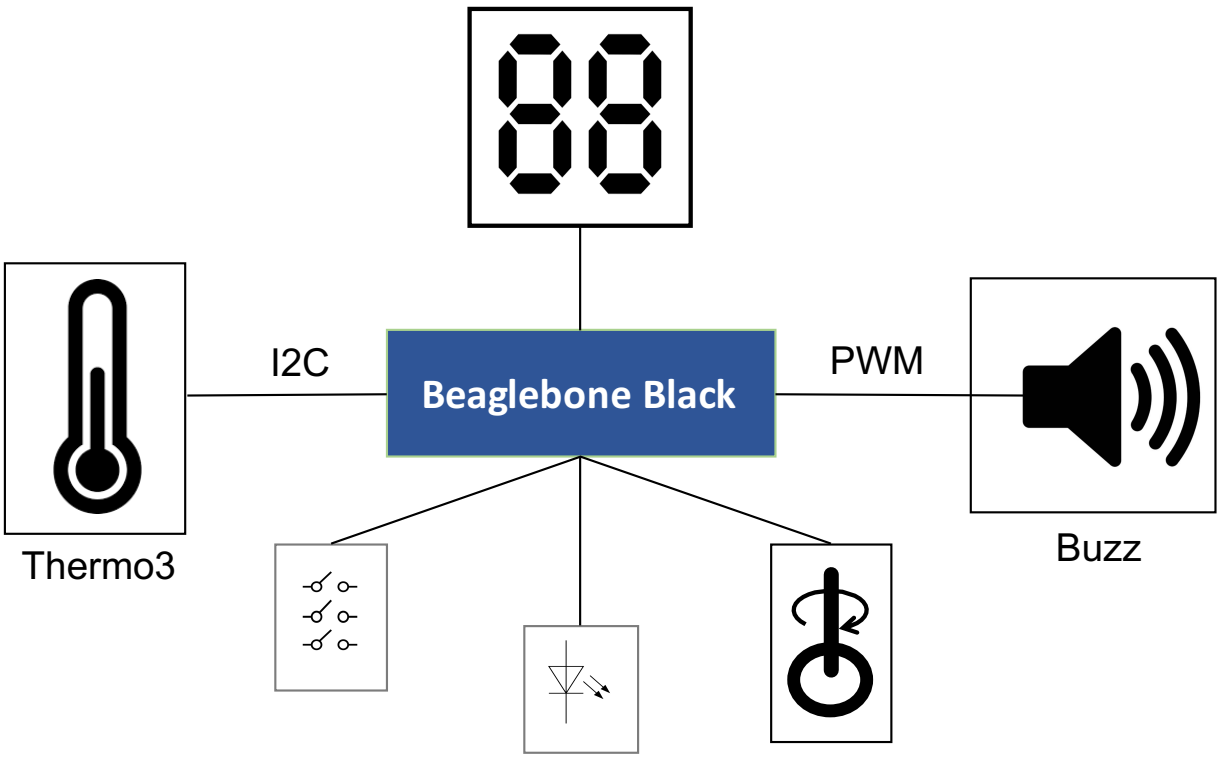
Hes·so
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale
Fachhochschule Westschweiz

Objectifs

- A la fin du laboratoire, les étudiant-e-s seront capables de
  - Intégrer des composants développés lors de travaux précédents
  - Aborder le protocole de communication I2C
  - Intégrer dans une application un périphérique I2C (thermomètre)
  - Aborder la modulation de largeur d'impulsion (PWM)
  - Etudier le datasheet du module ePWM du µP AM3358
  - Concevoir le pilote pour le module ePWM du µP AM3358
  - Intégrer dans une application un périphérique PWM (buzzer)
  - Concevoir une application originale, modulaire et générique
- Durée
  - 2 séances de laboratoire (8 heures)
- Rapport
  - Rapport de laboratoire avec le code source à la fin du 2^{e} laboratoire

Travail à réaliser

- Développer une application mettant en oeuvre un thermomètre et un buzzer pour offrir la fonctionnalité suivante
  - Affichage de la température actuelle sur le display 7-segments
  - Génération d'une alarme sonore si la température franchie certains seuils
  - Réglage des seuils pour la génération de l'alarme sonore



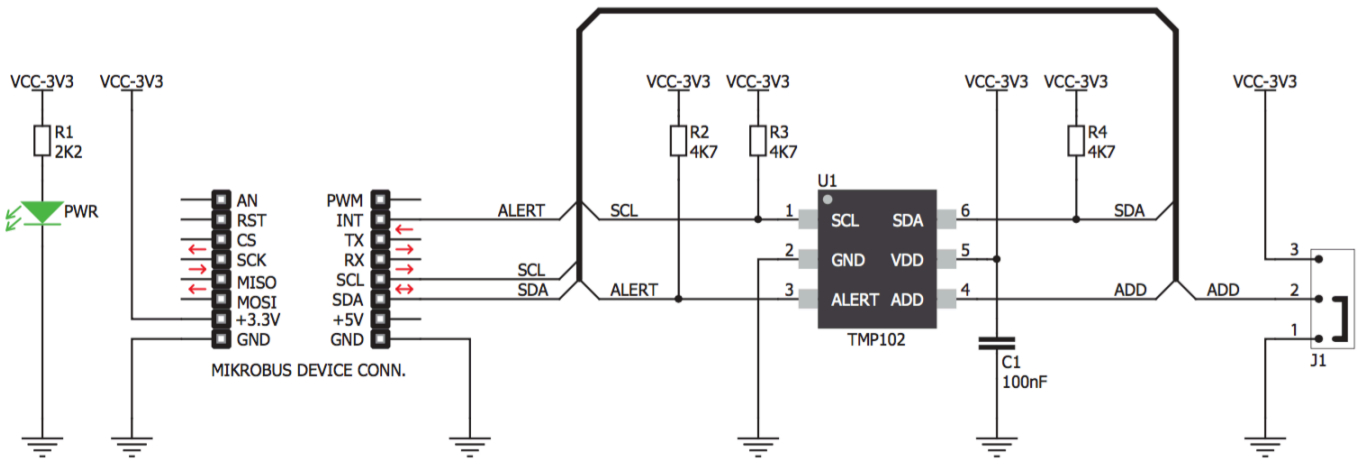
Travail à réaliser (II)

- La click board Thermo3 donnera la température actuelle
- Le display 7-segments affichera la température en degré Celsius
- La click board Buzz servira à la génération de l'alarme sonore

- Réglage des seuils
  - Bouton S1 pour autoriser/stopper le réglage de la valeur supérieure
  - Bouton S2 pour autoriser/stopper le réglage de la valeur inférieure
  - Encodeur rotatif pour régler la température de seuil
  - LED1 allumée lors du réglage du seuil supérieur
  - LED2 allumée lors du réglage du seuil inférieur

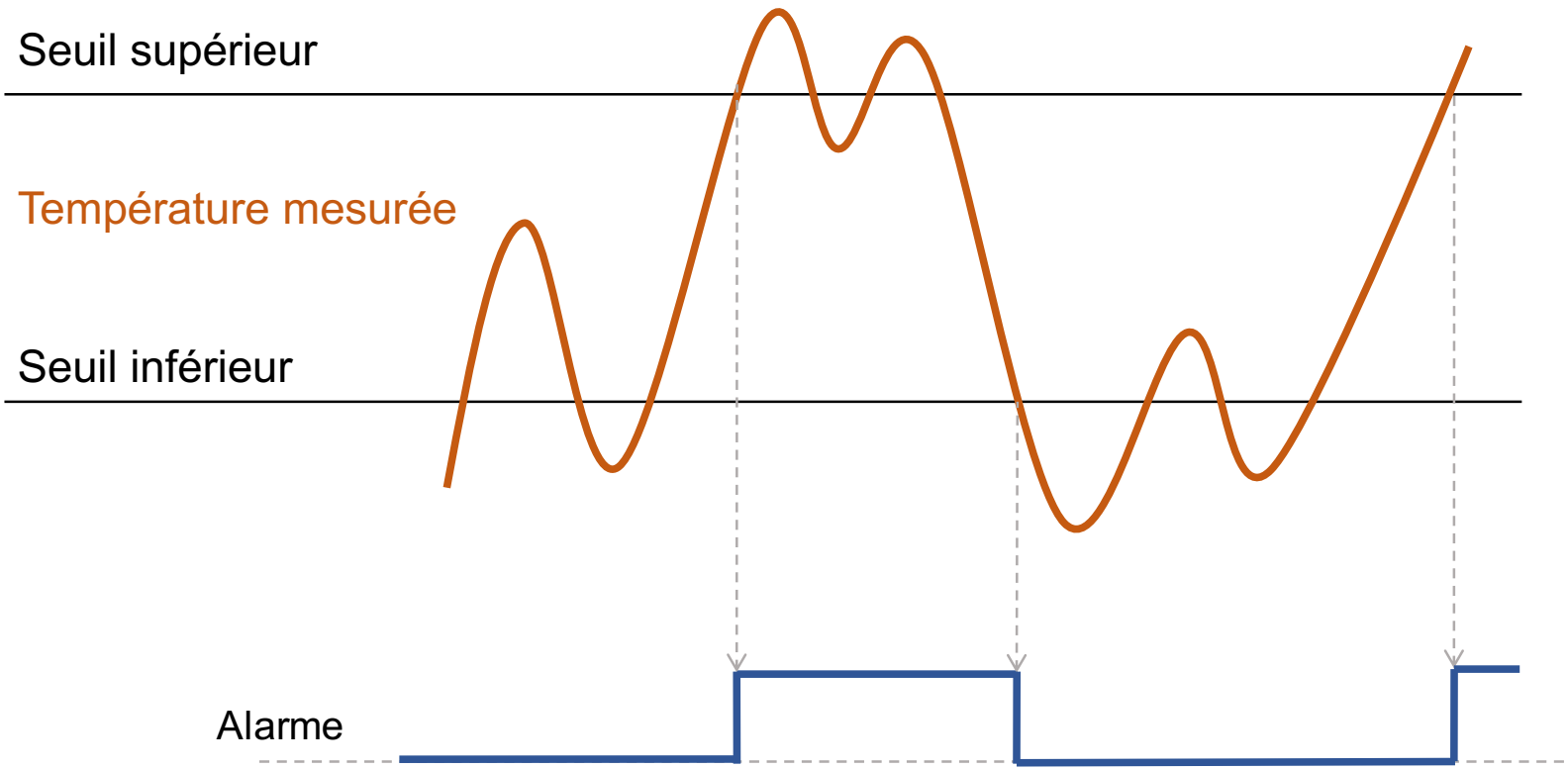
Click Board Thermo3

- Sur la carte d'extension vous trouvez le click board Thermo3 équipé du thermomètre I2C TMP102 de Texas Instrument
- La spécification du thermomètre et la description de ses registres sont disponibles dans le document "04_tmp102.pdf"
- Schéma du click board Thermo3 (réf. "03_click_thermo3.pdf")



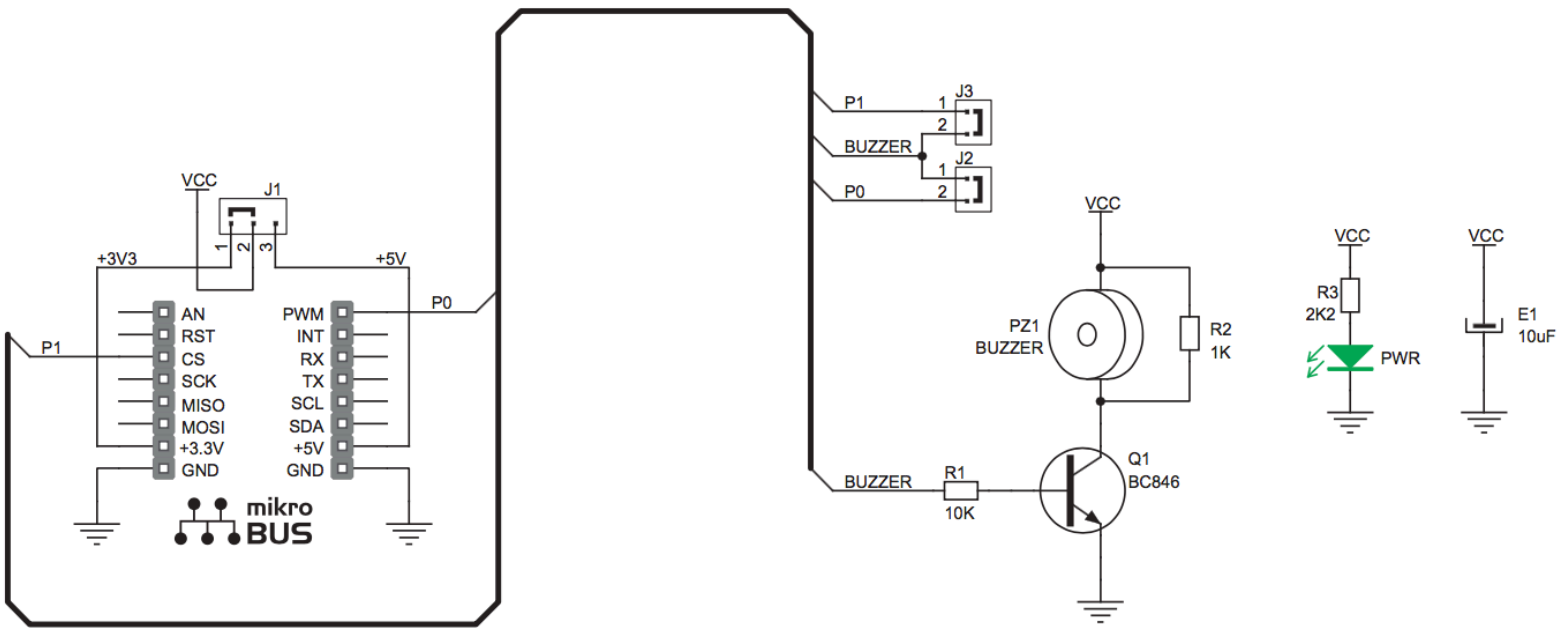
- Ce thermomètre est accessible à l'adresse 0x48

Supervision de la température



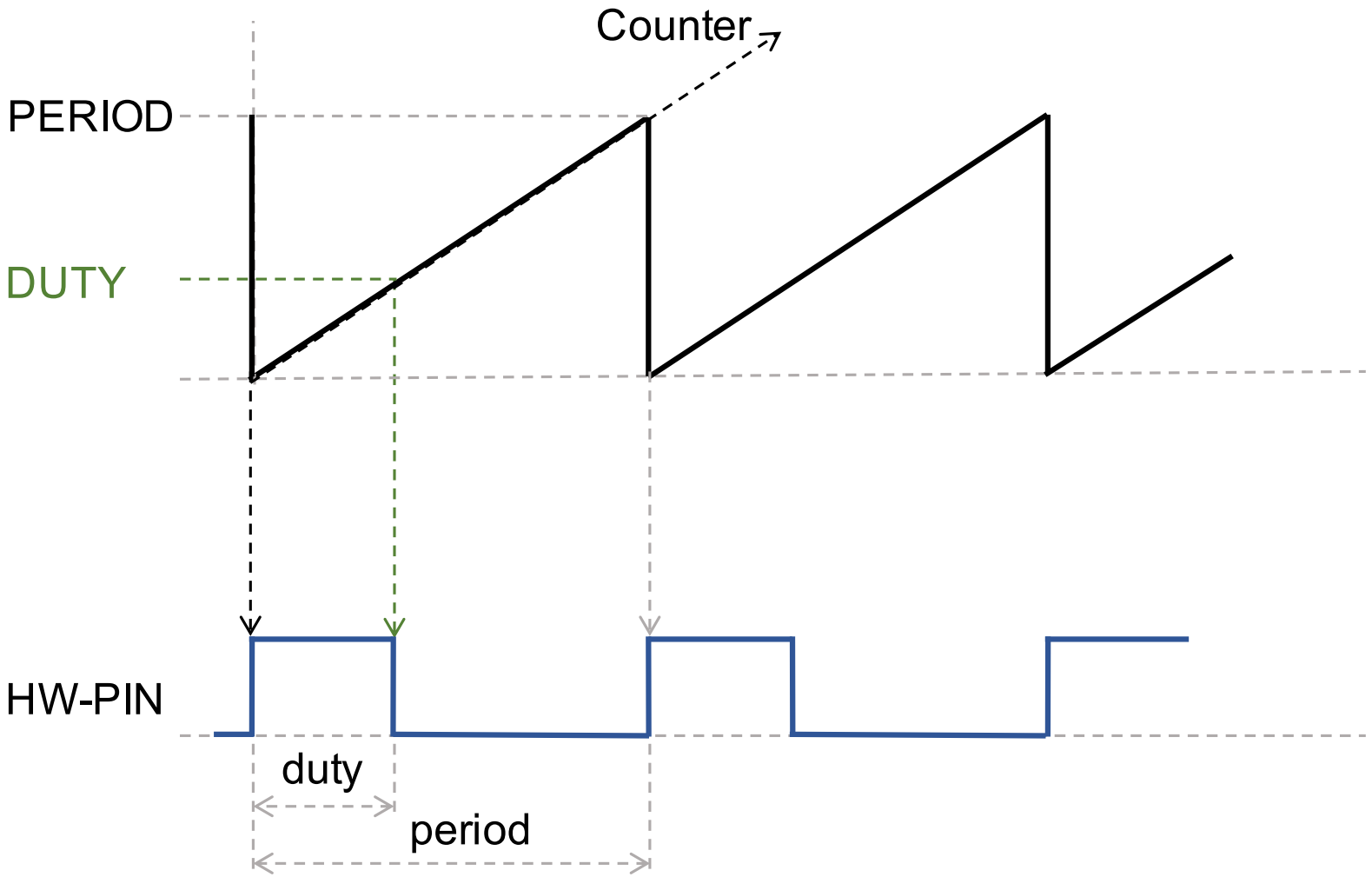
Click Board Buzz

- Le click board Buzzer devra être inséré dans le slot 1 sur la carte d'extension du Beaglebone Black
- Schéma du click board Buzzer (réf. "06_click_buzzer.pdf")

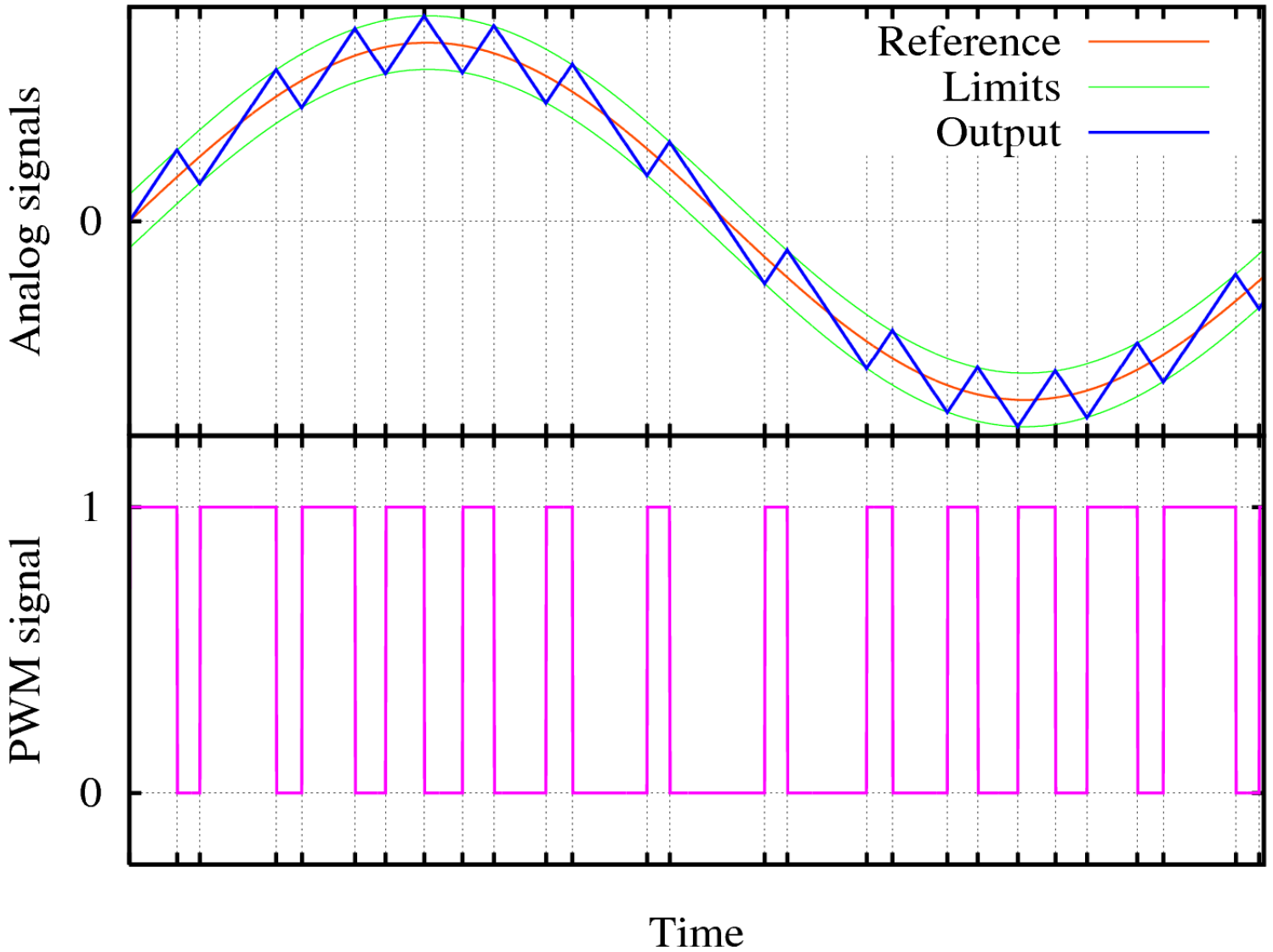


- Un signal PWM d'une fréquence de 3.8kHz appliquée sur la pin PWM permet de faire sonner le buzzer

Génération du signal PWM...

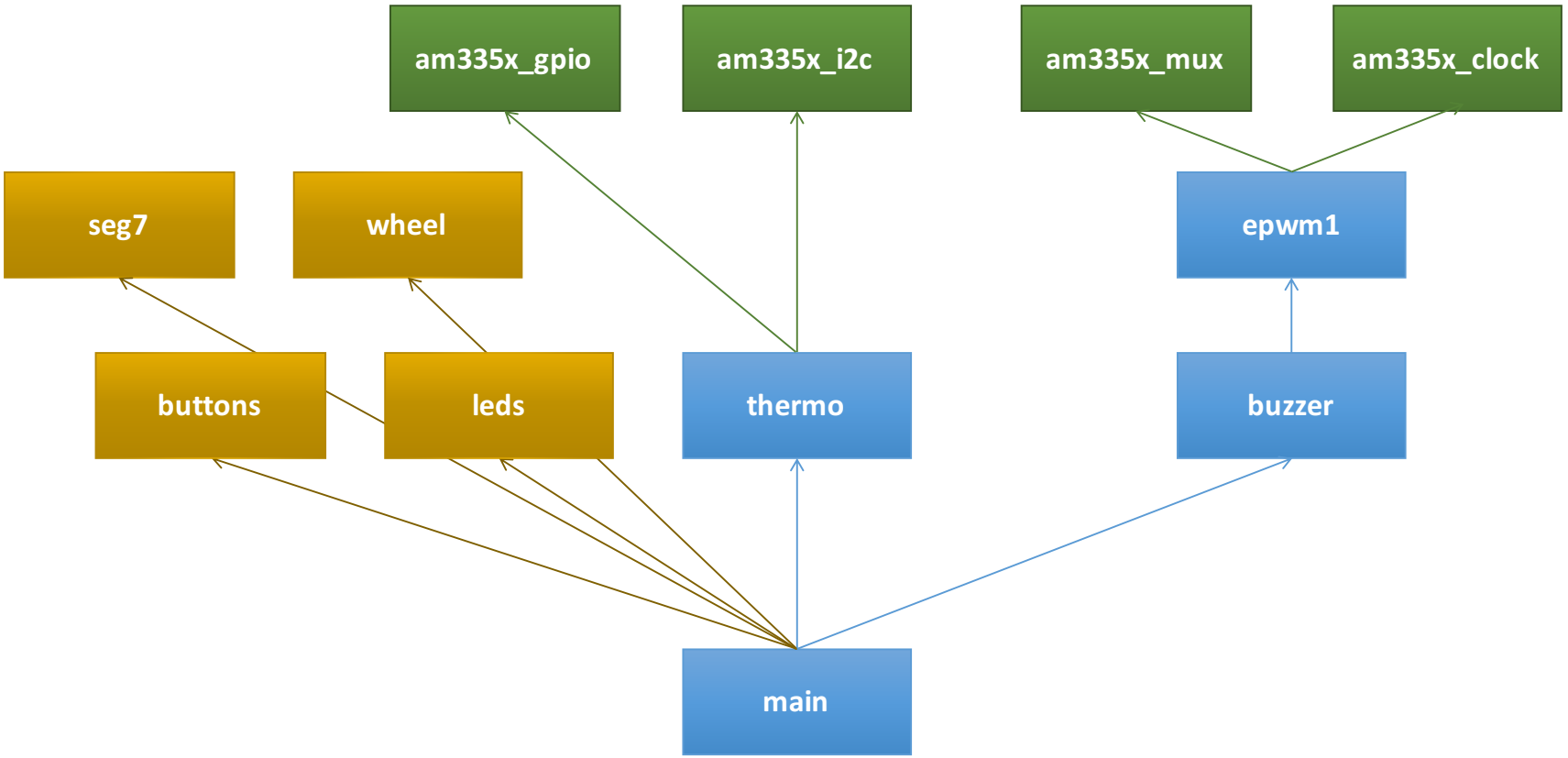


PWM (Pulse Width Modulation)



[0] https ://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation

Structure générale de l'application



- "`main`" module principal de l'application
- "`thermo`" module pour le pilotage du thermomètre
- "`buzzer`" module pour le pilotage du buzzer
- "`epwm1`" module pour le pilotage du ePWM1 du µP

THERMO : Fonctionnalité...

- Le module "`thermo`" servira à gérer le thermomètre I2C TMP102 au travers de la bibliothèque "`am335x_i2c`"
- Il offrira les services suivants
  - Méthode pour initialiser et configurer le thermomètre et les ressources utiles à la gestion du thermomètre
  - Méthode pour lire la température actuelle du thermomètre
  - Méthode pour lire l'état de la pin d'alarme présente sur le click board Thermo3
  - Méthodes pour lire et configurer les seuils servant à la génération de l'alarme
- Le fonctionnement du module devra être validé et vérifié

BUZZER : Fonctionnalité...

- Le module "buzzer" servira à gérer le buzzer au travers de la bibliothèque "epwm1"
- Il offrira les services suivants
  - Méthode pour initialiser et configurer les ressources utiles à la gestion du buzzer
  - Méthode pour sélectionner la fréquence du pwm
  - Méthode pour sélectionner la valeur du rapport de cycle (duty cycle)
- Le fonctionnement du module devra être validé et vérifié

EPWM1 : Fonctionnalité

- Le module "epwm1" du µP AM3358 servira à actionner le signal EPWM1A
- Le ePWM1 sera contrôlé par un pilote de périphérique, lequel offrira les services suivants
  - Méthode pour initialiser le ePWM1
  - Méthode pour sélectionner la fréquence du ePWM1
  - Méthode pour sélectionner la valeur du rapport de cycle (duty cycle)
    - EPWM1A est mis à 0 si la valeur du duty cycle est à 0%
    - EPWM1A est mis à 1 si la valeur du duty cycle est à 100%
- Le fonctionnement du pilote de périphérique devra être validé et vérifié

Les questions...

- Quelle est la fonction des 5 registres internes du thermomètre TMP102 ?
- Comment le TMP102 génère-t-il le signal d'alarme ALERT ?
- Pour quelle raison le TMP102 dispose d'un registre T_{HIGH} et T_{LOW} ?
- Quels sont les domaines d'application des pointeurs de fonctions ?
- Comment déclare-t-on un pointeur de fonction ?
- Comment utilise-t-on un pointeur de fonction ?
- Comment le compilateur implémente-t-il un pointeur de fonction en assembleur ?

Conditions d'exécution

- Le squelette du projet se trouve sur le dépôt centralisé
  - Pour le télécharger, tapez les commandes suivantes

```
$ cd ~/workspace/se12/tp
$ git pull upstream master
```

- Le code et le rapport seront rendus au travers du dépôt Git centralisé
  - *sources* : *.../tp/tp.06*
  - *rapport* : *.../tp/tp.06/doc/report.pdf*
- Délai
  - Le journal et le code doivent être rendus au plus tard 6 jours après la 2^{e} séance de laboratoire à minuit

Mise à jour

- Pour mettre à jour la bibliothèque spécialisée du Beaglebone

```
$ cd ~/workspace/se12
$ git pull
$ make -C ~/workspace/se12/bbb/source
```

- Pour mettre à jour les paths des includes dans eclipse
  - ouvrir `Properties` pour votre projet
  - aller `C/C++ General` → `Paths and Symbols`
  - ouvrir `Includes` → `GNU C`
  - ajouter `/home/lmi/workspace/se12/bbb/source`

I2C - Introduction

- I2C $\Leftrightarrow$ Inter Integrated Circuit

- Bus série élaboré au début des années 1980 et spécifié par Philips Semiconductor
- Seulement deux signaux et trois lignes
  - Une ligne d'horloge (SCL : serial clock line)
  - Une ligne de données (SDA : serial data line)
  - Un fil de référence de potentiel (GND)
- Principe de fonctionnement
  - Master – Slave, identifié par une adresse unique de 7 bits ou 10 bits
  - Série orienté 8-bit
  - Horloge de quelques Hz à 100 kHz (400 kHz pour le mode rapide)
- Multitude d'applications
  - Contrôleurs, mémoires, i/f pour périphériques simples ...

I2C - Exemple d'application

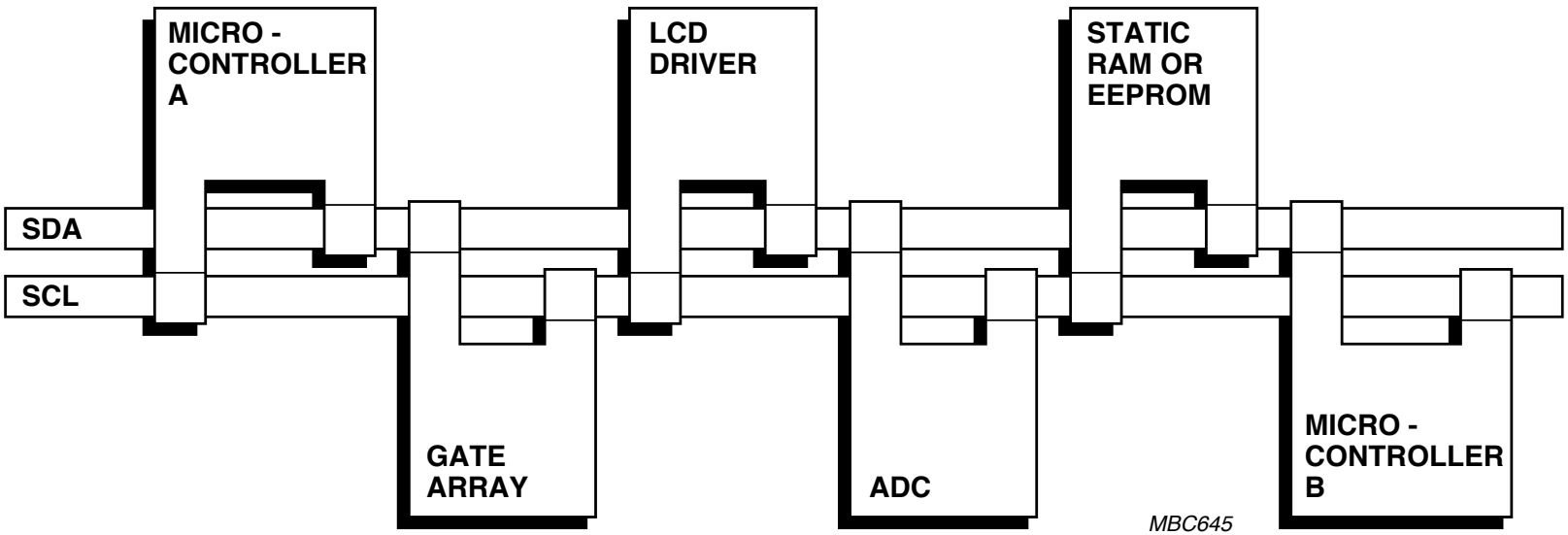


Fig.2 Example of an I²C-bus configuration using two microcontrollers.

[0] Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

I2C - Transfert de données

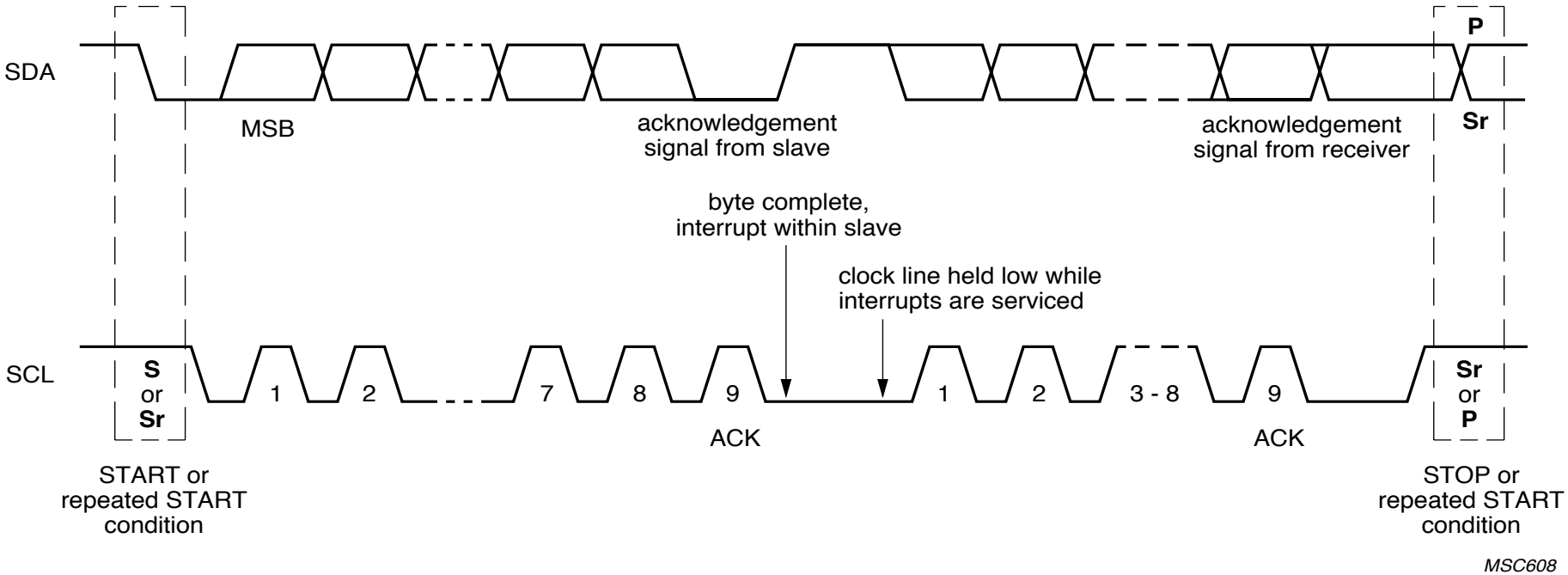


Fig.6 Data transfer on the I²C-bus.

0 Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

I2C - Transfert de bit

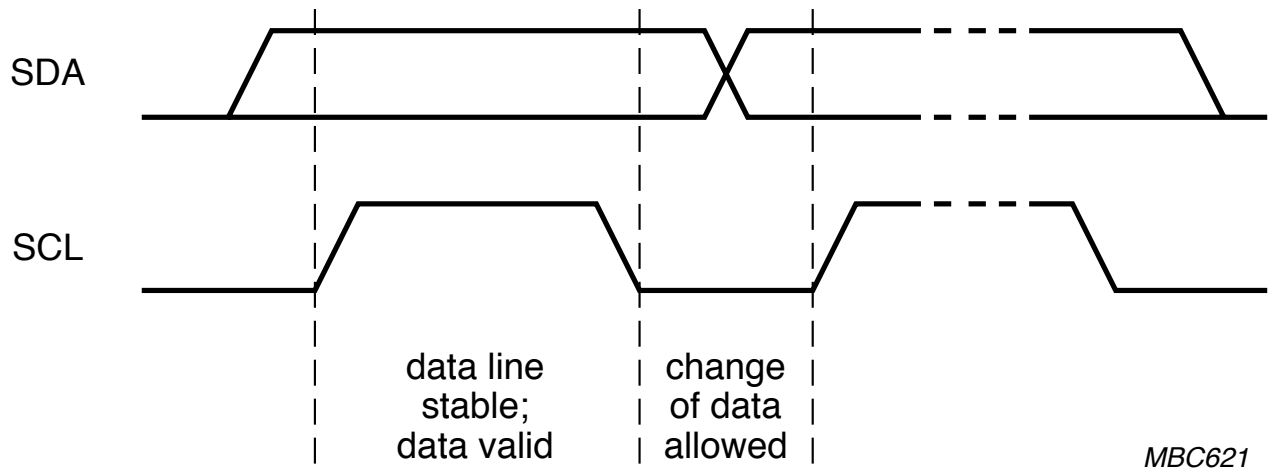


Fig.4 Bit transfer on the I^2C-bus.

[0] Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

I2C - Génération du start/stop bit

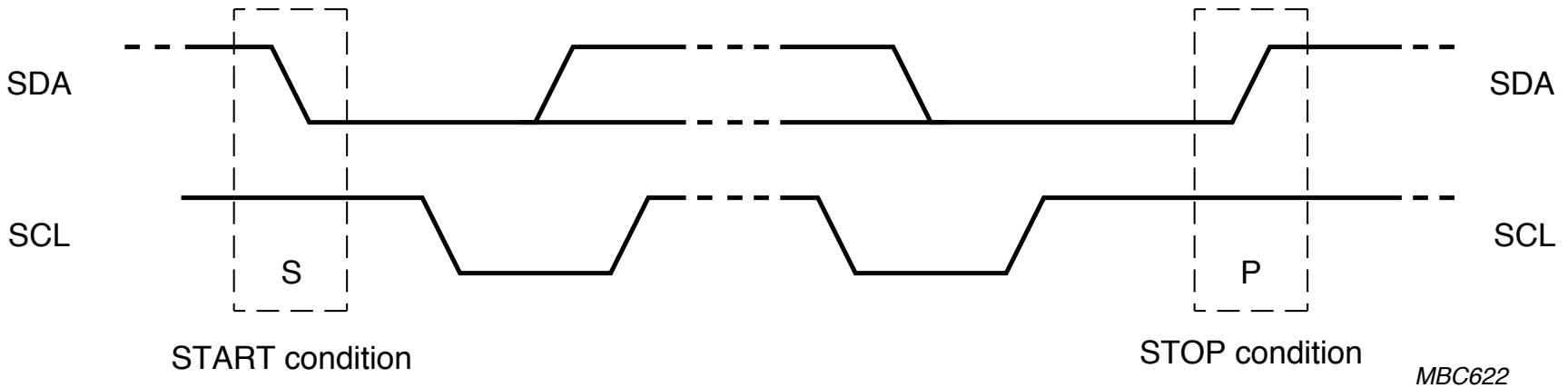


Fig.5 START and STOP conditions.

[0] Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

I2C - Transfert complet de données

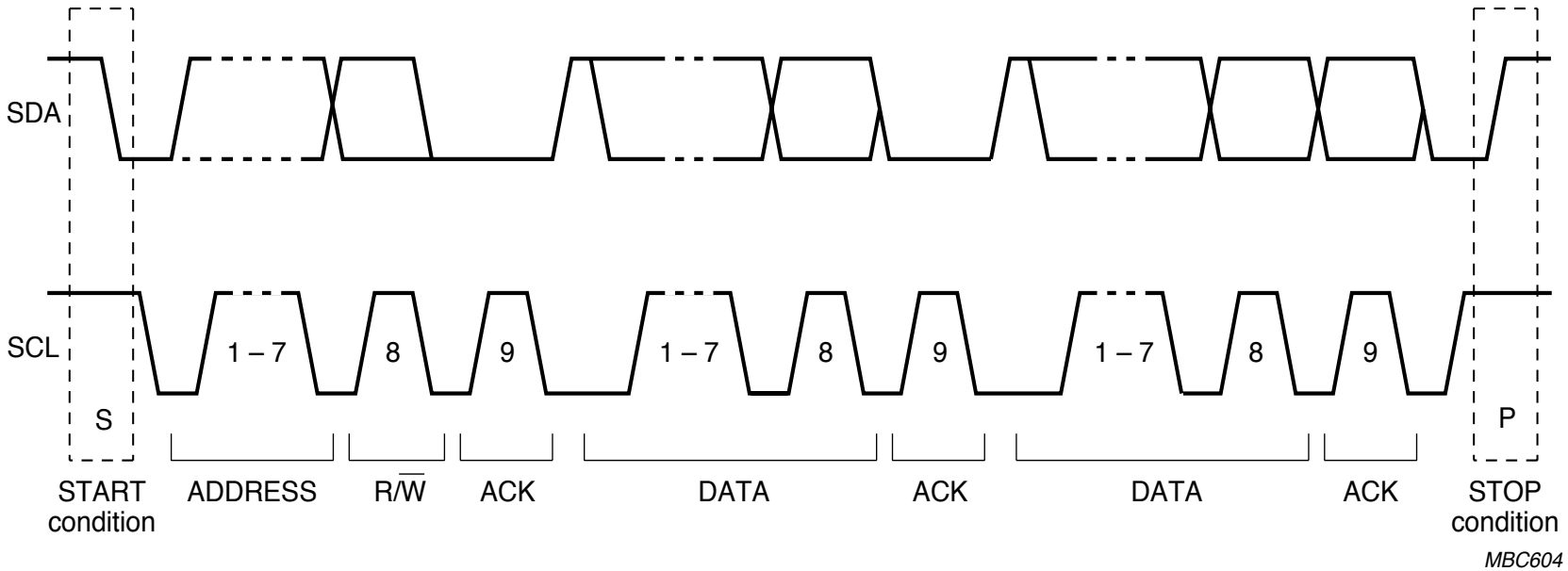


Fig.10 A complete data transfer.

[0] Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

I2C - Format write

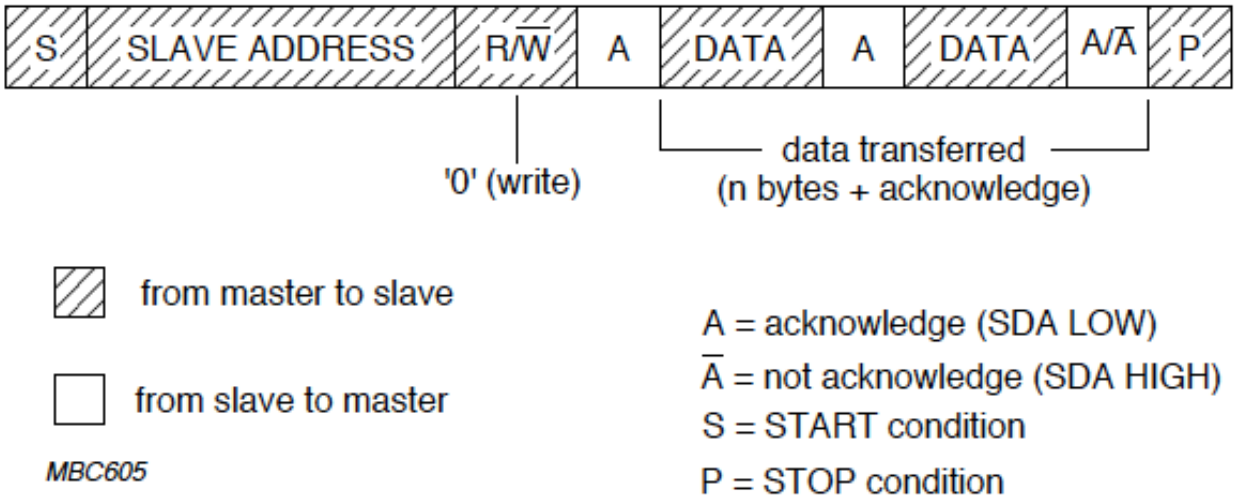


Fig.11 A master-transmitter addressing a slave receiver with a 7-bit address. The transfer direction is not changed.

I2C - Format read

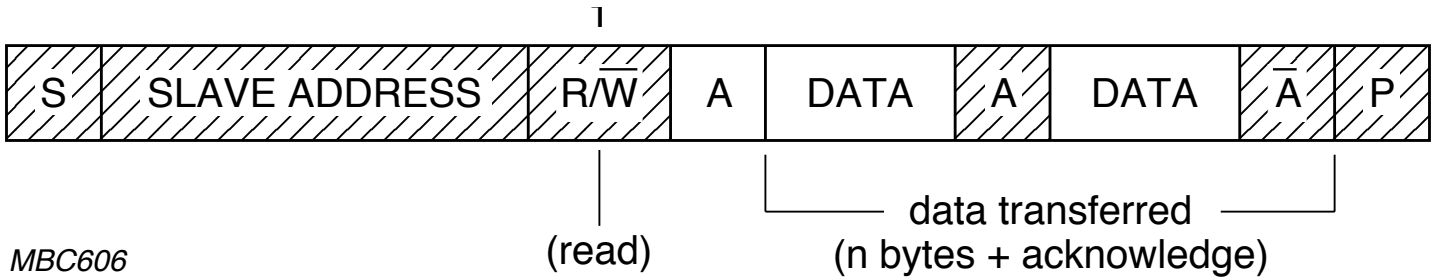


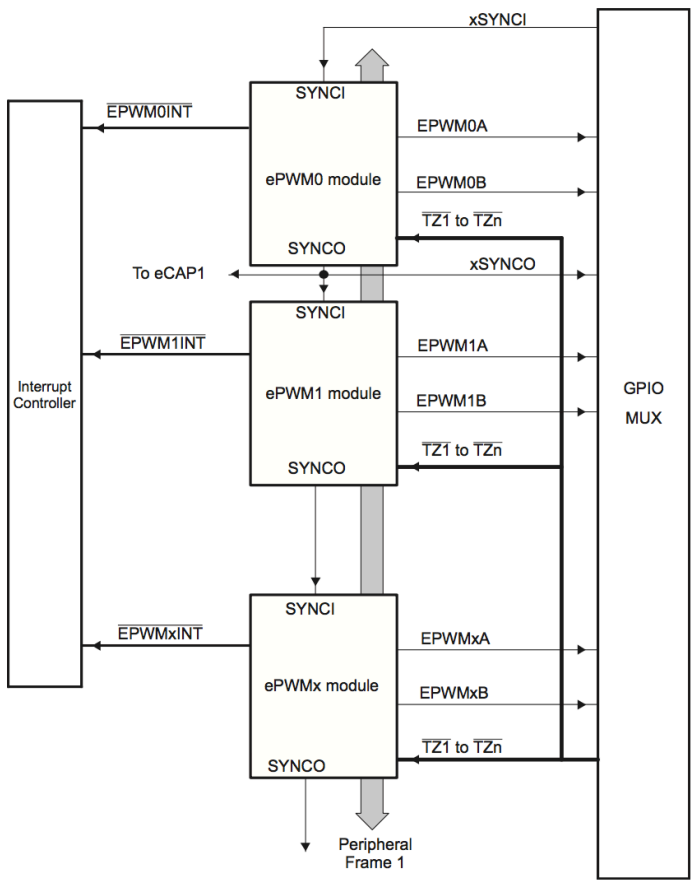
Fig.12 A master reads a slave immediately after the first byte.

[0] Réf. 02_I2C-BUS_SPECIFICATION.pdf

PWM - L'infrastructure AM335x...

- Le µP AM335x de TI dispose de 3 modules ePWM
- Pour notre application, nous allons utiliser le signal EPWM1A du module ePWM1

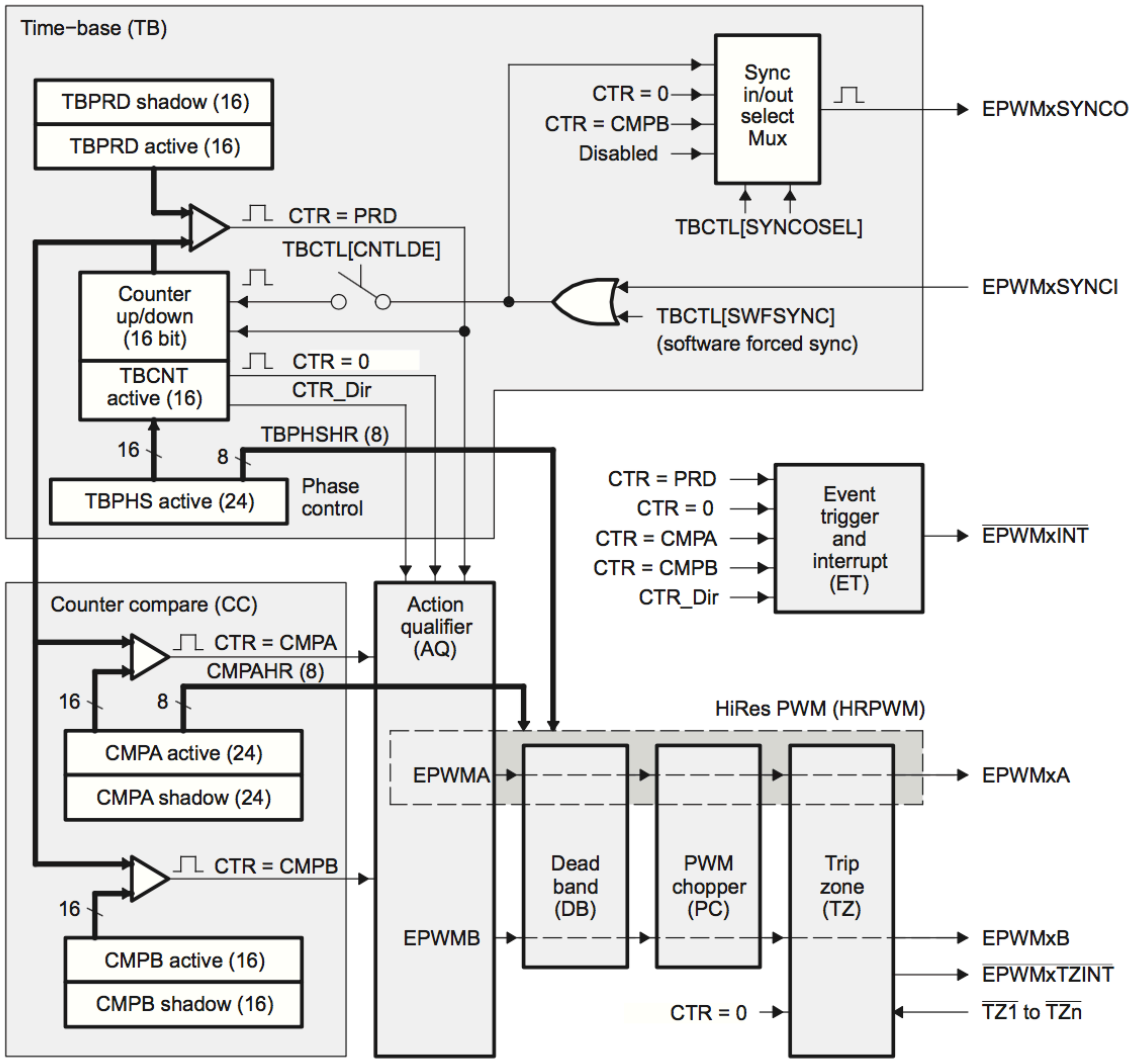
Figure 15-7. Multiple ePWM Modules



[0] Réf. 06_am335x_technical_reference_manual.pdf, chapter 15

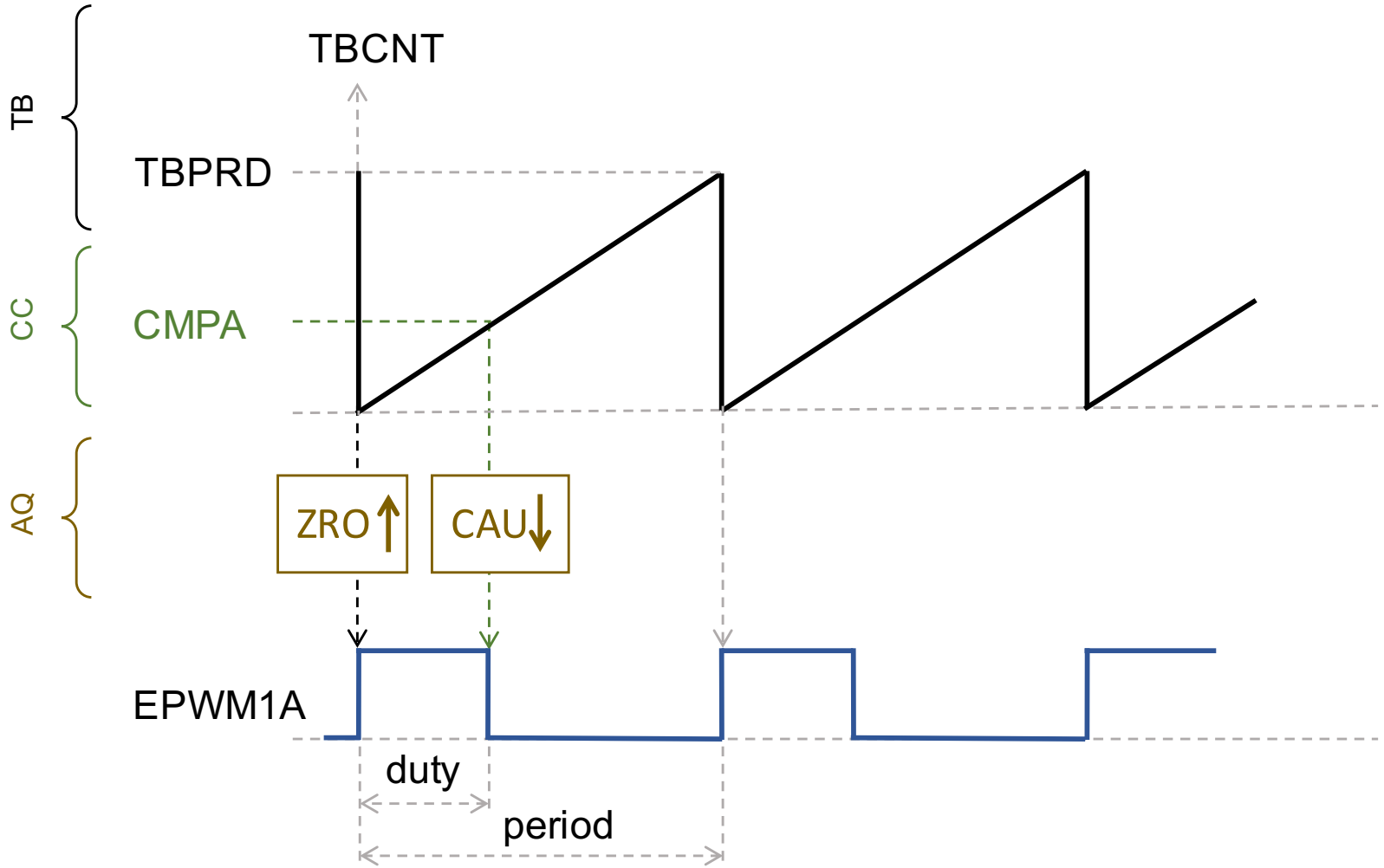
AM335x - Le module ePWM...

Figure 15-9. ePWM Submodules and Critical Internal Signal Interconnects



[0] Réf. 06_am335x_technical_reference_manual.pdf, chapter 15

AM335x - Le fonctionnement du module ePWM1...



[0] Réf. 06_am335x_technical_reference_manual.pdf, chapter 15

AM335x - Les registres...

Table 15-57. EPWM Registers

Offset	Acronym	Register Name	Section
0h	TBCTL	Time-Base Control Register	Section 15.2.4.1
2h	TBSTS	Time-Base Status Register	Section 15.2.4.2
4h	TBPHSHR	Extension for HRPWM Phase Register	Section 15.2.4.3
6h	TBPHS	Time-Base Phase Register	Section 15.2.4.4
8h	TBCNT	Time-Base Counter Register	Section 15.2.4.5
Ah	TBPRD	Time-Base Period Register	Section 15.2.4.6
Eh	CMPCTL	Counter-Compare Control Register	Section 15.2.4.7
10h	CMPAHR	Extension for HRPWM Counter-Compare A Register	Section 15.2.4.8
12h	CMPA	Counter-Compare A Register	Section 15.2.4.9
14h	CMPB	Counter-Compare B Register	Section 15.2.4.10
16h	AQCTLA	Action-Qualifier Control Register for Output A (EPWMxA)	Section 15.2.4.11
18h	AQCTLB	Action-Qualifier Control Register for Output B (EPWMxB)	Section 15.2.4.12
1Ah	AQSFRC	Action-Qualifier Software Force Register	Section 15.2.4.13
1Ch	AQCSFRC	Action-Qualifier Continuous S/W Force Register Set	Section 15.2.4.14
1Eh	DBCTL	Dead-Band Generator Control Register	Section 15.2.4.15
20h	DBRED	Dead-Band Generator Rising Edge Delay Count Register	Section 15.2.4.16
22h	DBFED	Dead-Band Generator Falling Edge Delay Count Register	Section 15.2.4.17
24h	TZSEL	Trip-Zone Select Register	Section 15.2.4.18
28h	TZCTL	Trip-Zone Control Register	Section 15.2.4.19
2Ah	TZEINT	Trip-Zone Enable Interrupt Register	Section 15.2.4.20
2Ch	TZFLG	Trip-Zone Flag Register	Section 15.2.4.21
2Eh	TZCLR	Trip-Zone Clear Register	Section 15.2.4.22
30h	TZFRC	Trip-Zone Force Register	Section 15.2.4.23
32h	ETSEL	Event-Trigger Selection Register	Section 15.2.4.24
34h	ETPS	Event-Trigger Pre-Scale Register	Section 15.2.4.25
36h	ETFLG	Event-Trigger Flag Register	Section 15.2.4.26
38h	ETCLR	Event-Trigger Clear Register	Section 15.2.4.27
3Ah	ETFRC	Event-Trigger Force Register	Section 15.2.4.28
3Ch	PCCTL	PWM-Chopper Control Register	Section 15.2.4.29
C0h	HRCNFG	HRPWM configuration register (HRCNFG)	Section 15.2.4.30

[0] Réf. 06_am335x_technical_reference_manual.pdf, chapter 15

AM335x - L'initialisation...

- Avant de configurer le module ePWM1, il faut mettre en service l'horloge de 100MHz ainsi que configurer la pin EPWM1A en sortie
  `"am335x_clock_enable_epwm_module(AM335X_CLOCK_EPWM1)"`
  `"am335x_mux_setup_epwm_pins(AM335X_MUX_EPWM1)"`
- Dans une 2e phase, il est judicieux d'initialiser les registres suivants
  - `tbprd  = 0; // period set to null`
  - `tbcnt  = 0; // set counter to 0`
  - `tbctl  = 0; // set to default reset value`
  - `cmpa   = 0; // clear counter compare A`
  - `cmpctl = 0; // enable shadowing`
  - `aqctla = 0; // all actions disabled`

- La configuration du module ePWM1 pour une fréquence de fonctionnement et un rapport de cycle donné passe par les registres suivants
  - `tbprd  // configuration de la période`
    - `tbprd = divider.prd`
  - `tbcnt  // mise à zéro du compteur`
    - `tbcnt = 0`
  - `tbctl  // configuration des diviseurs de fréquence`
    - `HSCLKDIV = divider.hsclkdiv`
      `CLKDIV = divider.clkdiv`
      `SYNCOSEL = disable`
  - `cmpa   // configuration du temps de rapport de cycle`
    - `cmpa = tbprd * duty / 100`
  - `aqctla // configuration des actions`
    - `ZRO = set`
      `CAU = clear`

AM335x - Les diviseurs...

- La fréquence de l'horloge du module ePWM1 peut être réduite grâce aux 2 diviseurs `CLKDIV` et `HSCLKDIV`
- Ces diviseurs seront choisis afin d'obtenir le plus petit diviseur possible pour la fréquence choisie du signal EPWM1A
- La valeur du registre `TBPRD` se calcule avec la formule suivante $tbprd = SYSCLK/divider/frequency$
  - SYSCLK = 100MHz
  - divider = CLKDIV * HSCLKDIV
  - frequency = fréquence de signal EPWM1A