

Final MC43

Exercice 1 : Capteur de pression barométrique SPI (11 points/30)

Le composant MPL115A1 est un capteur de pression absolue faible coût doté d'une interface de communication SPI. Il permet d'obtenir une mesure de la pression atmosphérique comprise entre 50 kPa et 115 kPa avec une précision de 1 kPa. Le composant comprend également une mesure de la température qui permet d'effectuer la compensation en température de la mesure de pression.

Son principe d'utilisation consiste à déclencher les conversions analogiques numériques de la pression et de la température grâce à un convertisseur analogique numérique interne. Le système microprocesseur doit alors lire la pression et la température converties et calculer la pression absolue à partir de l'expression de la courbe d'étalonnage. Les paramètres de la courbe d'étalonnage sont mémorisés en ROM en usine dans l'espace d'adressage du MPL115A1.

Le composant MPL115A1 est piloté par un DSP contrôleur TMS320LF2407A cadencé à 40 MHz.

1. Rappeler quelle est la pression atmosphérique au niveau de la mer à 15°C en kPa et en bar.
2. Décrire brièvement la différence entre pression hydrostatique et hydrodynamique.
3. Décrire le principe d'un montage push-pull de capteurs dans un pont de Wheatstone et donner ses avantages.
4. Rappeler l'expression du taux de réjection du mode commun d'un amplificateur d'instrumentation.
5. Quelles doivent être les principales propriétés de l'amplificateur différentiel d'instrumentation et expliquer pourquoi ?
6. Déterminer la précision relative du MPL115A1.
7. La sortie IOPA5 du DSP est utilisée pour piloter la broche /SHDN du MPL115A1. Indiquer à quelles broches du DSP LF2407A les broches SCK, DIN, DOUT et /CS doivent être connectées.
8. Les transferts SPI avec le MPL115A1 se font par paquets de données de 8 bits. En vous aidant des datasheets, déterminer le contenu des registres d'initialisation du contrôleur SPI du DSP : SPICCR, SPIBRR, SPICTL, pour que les transferts soient cadencés à la fréquence SPI maximale possible.
9. Ecrire en langage C la fonction `void activeMPL115A1(void)` permettant d'activer le composant MPL115A1 (mise à VDD de /SHDN).
10. Ecrire en langage C la fonction `void write(int Ad, int val)` permettant d'envoyer l'octet `val` à l'adresse `Ad` du MPL115A1.
11. Ecrire en langage C la fonction `int read(int Ad)` permettant de lire l'octet contenu à l'adresse `Ad` du MPL115A1 et de le retourner.
12. Ecrire en langage C la fonction `void LanceADC(void)` permettant de lancer la conversion analogique numérique de la pression et de la température par le MPL115A1.
13. En utilisant les paramètres d'étalonnage donnés dans l'exemple du datasheet, déterminer la pression atmosphérique lorsque les valeurs suivantes ont été lues par le DSP : $P_{adc} = 305$ et $T_{adc} = 712$.

Exercice 2 : Mesure de position d'un entraînement industriel (6,5 points/30)

Un moteur asynchrone industriel est alimenté par un variateur de vitesse comprenant un onduleur de puissance et sa commande par microprocesseur TMS320LF2407A cadencé à 40 MHz. L'entraînement doit être équipé d'un capteur de position afin de permettre au variateur d'assurer le contrôle du processus. Nous étudions ici la mise en œuvre d'un codeur incrémental en quadrature. Le choix du codeur incrémental est conditionné par les contraintes suivantes :

Alimentation : compatibilité avec le variateur

Bride : standard

Axe : Diamètre d'arbre : 10mm – IP54

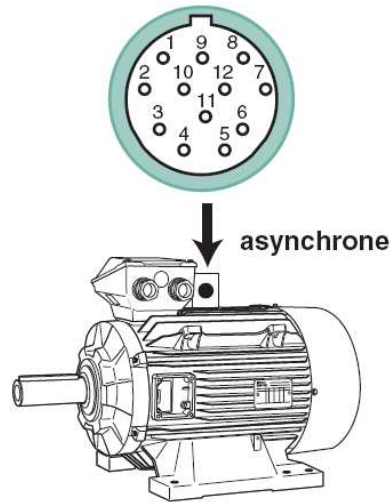
Raccordement : connecteur compatible avec le variateur à sortie radiale

Résolution numérique : 0.1 degré d'angle

La documentation du variateur indique le brochage suivant :

Connecteur 12 broches
côté codeur (fiche mâle)

Repère	Désignation
1	0V
2	+5V ou +8V ou +12V
3	A
4	B
5	C ou O ou Z
6	A\
7	B\
8	C\ ou O\ ou Z\
9	-
10	-
11	Blindage (2)
12	-



1. Décrire la fonction de chacune des broches à connecter.
2. Indiquer quel est le standard de transmission conseillé pour mettre en œuvre la connexion entre le codeur et le variateur. Expliquer pourquoi.
3. Déterminer la résolution minimale possible du codeur.
4. Choisir la résolution parmi les résolutions standards proposées afin de minimiser le coût (le coût augmente avec la résolution).
5. Déterminer la référence de commande du codeur GI355
6. Déterminer la vitesse maximale (en tours/mn) à laquelle pourra être entraîné le codeur.
7. Les signaux en quadrature du codeur sont appliqués aux entrées QEP1 et QEP2 du DSP. Le compteur 2 de l'EVA est configuré de la manière suivante :
 - o mode comptage/décomptage directionnel
 - o T2PR = 49999
 - o T2CNT = 0 à l'initialisation (contient ensuite la position de l'arbre sous forme numérique)

Tracer sur un graphe l'évolution du contenu du registre T2CNT pendant les 2 premières secondes si l'arbre du moteur tourne à la vitesse constante de 1500 tr/mn.

Exercice 3 : Mesure de sécurité en courant, tension et température (12,5 points/30)

Un onduleur de puissance est équipé de capteurs de courant, de tension et de température afin d'assurer la sécurité du convertisseur. Les mesures sont réalisées par le microprocesseur de contrôle qui a pour rôle de mettre en œuvre une procédure de sécurité lors du dépassement de valeurs seuils en courant, tension ou température de l'onduleur.

Les caractéristiques des mesures sont les suivantes :

Mesure de courant :

- o capteur LA55-P/SP1
- o étendue de mesure en courant : de -100 A à +100 A (en valeurs instantanées)
- o seuils de déclenchement des sécurités : $I < -80$ A instantanés et $I > +80$ A instantanés

Mesure de tension :

- o capteur LV25-P/SP2
- o étendue de mesure en tension : de 0 V à +700 V (en valeurs instantanées)
- o seuils de déclenchement des sécurités : $V > +600$ V instantanés

Mesure de température :

- o sonde au platine Pt100 dans un pont de Wheatstone : $R(T) = 100 \cdot (1 + 3.90802 \cdot 10^{-3} \cdot T - 5.80195 \cdot 10^{-7} \cdot T^2)$
- o alimentation du pont de Wheatstone $V_{cc} = 2.2$ V. Equilibre du pont à 100°C
- o étendue de mesure en température : de 0°C à +150°C
- o seuils de déclenchement des sécurités : $T > +120$ °C
- o précision absolue requise : 1°C
- o coefficient d'auto-échauffement de la sonde Pt100 : 30°C/W

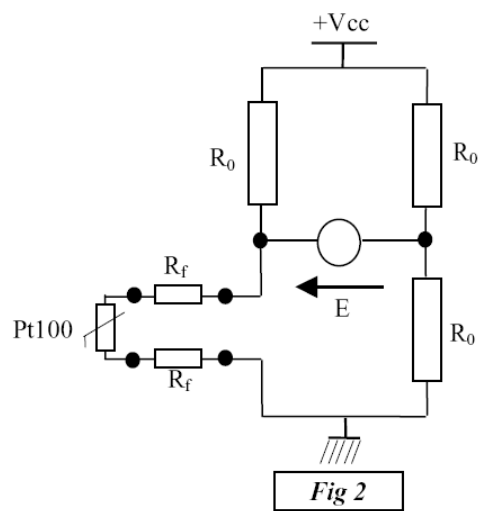
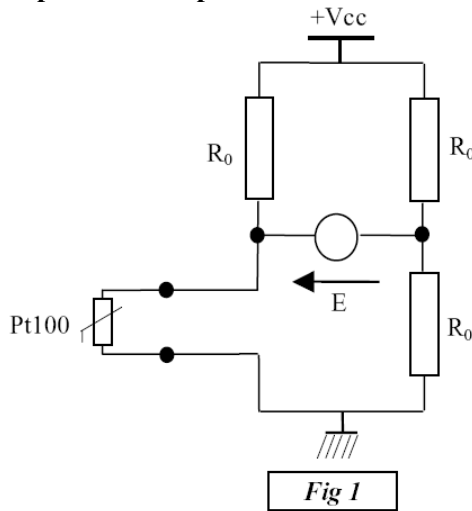
Etude du capteur de courant :

1. Déterminer la valeur la plus élevée possible de la résistance de mesure R_M du capteur de courant dans le cas d'une alimentation ± 15 V et pour une température de 85°C.
2. Déterminer la puissance maximale dissipée par la résistance R_M .
3. Déterminer l'étendue de mesure de la tension V_I aux bornes de la résistance R_M .

Etude du capteur de tension :

4. Déterminer la résistance R_1 à associer au primaire du capteur pour obtenir la précision maximale.
5. Donner la précision relative et la précision absolue correspondante, pour une température de 25°C.
6. Déterminer la valeur la plus élevée possible de la résistance de mesure R_M du capteur de tension dans le cas d'une alimentation $\pm 15V$.
7. Déterminer l'étendue de mesure de la tension V_I aux bornes de la résistance secondaire.

Etude du capteur de température :



On ne tient pas compte de l'auto-échauffement de la sonde Pt100 dans un premier temps.

8. Déterminer la valeur de R_0 .
9. Déterminer l'expression de la tension E en fonction de V_{cc} , R_0 et $R(T)$ dans le cas où la résistance des fils de connexion à la Pt100 sont négligés (Fig.1).
10. Déterminer l'étendue de mesure de la tension E .
11. Déterminer la sensibilité moyenne du pont de Wheatstone.
12. Les deux fils de cuivre de connexion à la Pt100 ont une longueur de $l = 1m$, une section de $S = 0.5 \text{ mm}^2$ (Fig.2). Calculer la valeur de la résistance R_f (la résistivité du cuivre est $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega.m$).
13. Donner la nouvelle expression de la tension E lorsque la résistance des fils est prise en compte.
14. Déterminer l'erreur due à la résistance des fils commise sur la tension E , pour une température de 120°C.
15. Déterminer l'erreur due à la résistance des fils commise sur la température en approximant la caractéristique $E(T)$ à une droite.
16. Déterminer l'erreur commise sur la température due à l'auto-échauffement de la sonde Pt100.
17. Conclure sur la nécessité de compensation des erreurs de mesure.

ANNEXES

Entrées/sorties numériques multiplexées du TMS320LF2407

PIN FUNCTION SELECTED		MUX CONTROL REGISTER (name.bit #)	MUX CONTROL VALUE AT RESET (MCRx.n)	I/O PORT DATA AND DIRECTION‡		
(MCRx.n = 1) Primary Function	(MCRx.N = 0) I/O			REGISTER	DATA BIT NO.§	DIR BIT NO.¶
PORT A						
SCITXD	IOPA0	MCRA.0	0	PADATDIR	0	8
SCIRXD	IOPA1	MCRA.1	0	PADATDIR	1	9
XINT1	IOPA2	MCRA.2	0	PADATDIR	2	10
CAP1/QEP1	IOPA3	MCRA.3	0	PADATDIR	3	11
CAP2/QEP2	IOPA4	MCRA.4	0	PADATDIR	4	12
CAP3	IOPA5	MCRA.5	0	PADATDIR	5	13
PWM1	IOPA6	MCRA.6	0	PADATDIR	6	14
PWM2	IOPA7	MCRA.7	0	PADATDIR	7	15
				PORT C		
W/R#	IOPC0	MCRB.0	1	PCDATDIR	0	8
BIO	IOPC1	MCRB.1	1	PCDATDIR	1	9
SPISIMO	IOPC2	MCRB.2	0	PCDATDIR	2	10
SPISOMI	IOPC3	MCRB.3	0	PCDATDIR	3	11
SPICLK	IOPC4	MCRB.4	0	PCDATDIR	4	12
SPISTE	IOPC5	MCRB.5	0	PCDATDIR	5	13
CANTX	IOPC6	MCRB.6	0	PCDATDIR	6	14

Miniature SPI Digital Barometer

The MPL115A1 is an absolute pressure sensor with a digital SPI output targeting low cost applications. A miniature 5 by 3 by 1.2 mm LGA package is ideally suited for the space constrained requirements of portable electronic devices. Low current consumptions of 5 μ A during Active mode and 1 μ A during Shutdown (Sleep) mode are essential when focusing on low-power applications. The wide operating temperature range spans from -40°C to +105°C to fit demanding environment conditions.

The MPL115A1 employs a MEMS pressure sensor with a conditioning IC to provide accurate pressure measurements from 50 to 115 kPa. An integrated ADC converts pressure and temperature sensor readings to digitized outputs via a SPI port. Factory calibration data is stored internally in an on-board ROM. Utilizing the raw sensor output and calibration data, the host microcontroller executes a compensation algorithm to render *Compensated Absolute Pressure* with ± 1 kPa accuracy.

The MPL115A1 pressure sensor's small form factor, low power capability, precision, and digital output optimize it for barometric measurement applications.

MPL115A1

50 to 115 kPa

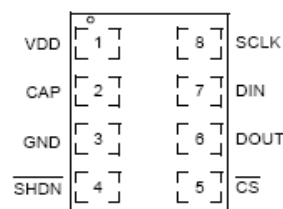


LGA Package
5.0 mm by 3.0 mm by 1.2 mm

Features

- Digitized pressure and temperature information together with programmed calibration coefficients for host micro use.
- Factory Calibrated
- 50 kPa to 115 kPa Absolute Pressure
- ± 1 kPa Accuracy
- 2.375V to 5.5V Supply
- Integrated ADC
- SPI Interface
- Monotonic Pressure and Temperature Data Outputs
- Surface Mount RoHS Compliant Package

Top View



Pin Connections

Application Examples

- Barometry (portable and desktop)
- Altimeters
- Weather Stations
- Hard Disk-Drives (HDD)
- Industrial Equipment
- Health Monitoring
- Air Control Systems

1 Block Diagram and Pin Descriptions

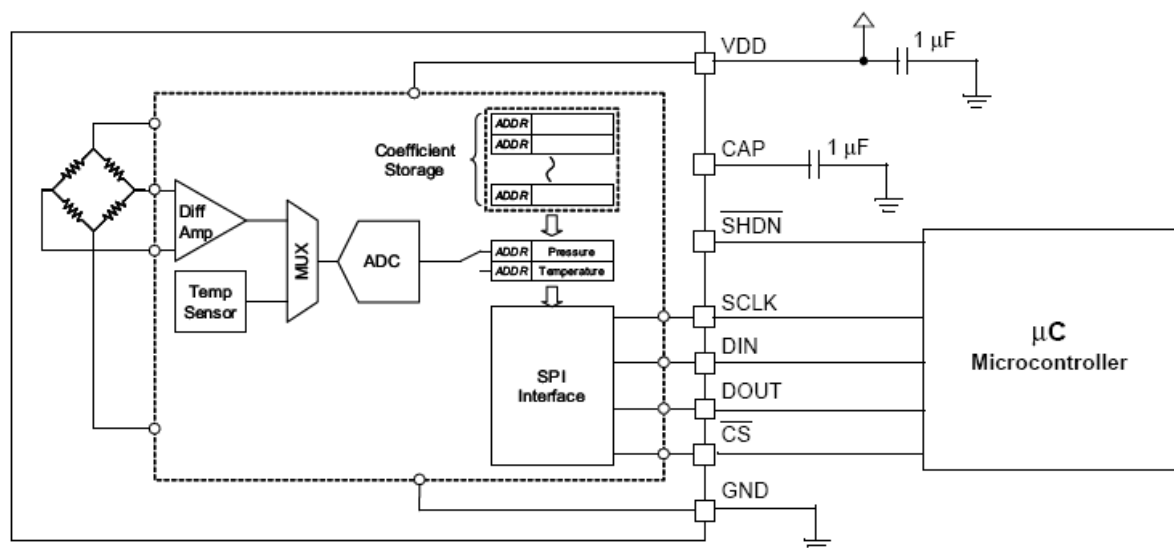


Figure 1. Block Diagram and Pin Connections

Table 1. Pin Description

Pin	Name	Function
1	VDD	VDD Power Supply Connection: VDD range is 2.375V to 5.5V.
2	CAP	External Capacitor: Output decoupling capacitor for main internal regulator. Connect a 1 μ F ceramic capacitor to ground.
3	GND	Ground
4	R ₁ $\overline{\text{SHDN}}$	Shutdown: Connect to GND to disable the device. When in shut down the part draws no more than 1 μ A supply current and all communications pins (CS, SCLK, DOUT, DIN) are high impedance. Connect to VDD for normal operation.
5	R ₂ $\overline{\text{CS}}$	$\overline{\text{CS}}$: Chip Select line.
6	DOUT	DOUT: Serial data output
7	DIN	DIN: Serial data input
8	SCLK	SPI: Serial Clock Input.

2.2 Operating Characteristics

(V_{DD} = 2.375 V to 5.5 V, T_A = -40°C to +105°C, unless otherwise noted. Typical values are at V_{DD} = 3.3 V, T_A = +25°C.

Ref	Parameters	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
1	Operating Supply Voltage	V _{DD}		2.375	3.3	5.5	V
2	Supply Current	I _{DD}	Shutdown ($\overline{\text{SHDN}} = \text{GND}$)	—	—	1	μA
			Standby	—	3.5	10	μA
			Average – at one measurement per second	—	5	—	μA
Pressure Sensor							
3	Range			50	—	115	kPa
4	Resolution			—	0.15	—	kPa
5	Accuracy		-20°C to 85°C	—	—	±1	kPa
6	Conversion Time (Start Pressure and Temperature Conversion)	t _c	Time between start convert command and data available in the Pressure and Temperature registers	—	1.6	3	ms
7	Wakeup Time	t _w	Time between leaving Shutdown mode ($\overline{\text{SHDN}}$ goes high) and communicating with the device to issue a command or read data.	—	3	5	ms
SPI Inputs: SCLK, $\overline{\text{CS}}$, D _{IN}							
8	SCLK Clock Frequency	f _{SCLK}	⁽¹⁾	—	—	8	MHz
9	Low Level Input Voltage	V _{IL}		—	—	0.3V _{DD}	V
10	High Level Input Voltage	V _{IH}		0.7V _{DD}	—	—	V
SPI Outputs: D _{OUT}							
11	Low Level Output Voltage	VOL1	At 3 mA sink current	0	—	0.4	V
		VOL2	At 6 mA sink current	0	—	0.6	
12	High Level Output Voltage	VOH1	At 3 mA source current	V _{DD} - 0.4 V	—	—	V

1. Nominal maximum SPI clock frequency.

Pressure, Temperature and Compensation Coefficient Specifications						
	a0	b1	b2	c12	Padc	Tadc
Total Bits	16	16	16	14	10	10
Sign Bits	1	1	1	1	0	0
Integer Bits	12	2	1	0	10	10
Fractional Bits	3	13	14	13	0	0
dec pt zero pad	0	0	0	9	0	0

Table 2. Device Memory Map

Address	Name	Description
0x00	Padc_MSB	10-bit Pressure ADC output value MSB
0x01	Padc_LSB	10-bit Pressure ADC output value LSB
0x02	Tadc_MSB	10-bit Temperature ADC output value MSB
0x03	Tadc_LSB	10-bit Temperature ADC output value LSB
0x04	a0_MSB	a0 coefficient MSB
0x05	a0_LSB	a0 coefficient LSB
0x06	b1_MSB	b1 coefficient MSB
0x07	b1_LSB	b1 coefficient LSB
0x08	b2_MSB	b2 coefficient MSB
0x09	b2_LSB	b2 coefficient LSB
0x0A	c12_MSB	c12 coefficient MSB
0x0B	c12_LSB	c12 coefficient LSB
0x0C	Reserved*	—
0x0D	Reserved*	—
0x0E	Reserved*	—
0x0F	Reserved*	—
0x10	Reserved	—
0x11	Reserved	—
0x12	CONVERT	Start Pressure and Temperature Conversion

*These registers are set to 0x00. These are reserved, and were previously utilized as Coefficient values, c11 and c22, which were always 0x00.

3.2 Compensation

The 10-bit compensated pressure output, Pcomp, is calculated as follows:

$$P_{comp} = a_0 + (b_1 + c_{12} \cdot T_{adc}) \cdot P_{adc} + b_2 \cdot T_{adc} \quad \text{Eqn. 1}$$

Where:

- Padc is the 10-bit pressure ADC output of the MPL115A
- Tadc is the 10-bit temperature ADC output of the MPL115A
- a0 is the pressure offset coefficient
- b1 is the pressure sensitivity coefficient
- b2 is the temperature coefficient of offset (TCO)
- c12 is the temperature coefficient of sensitivity (TCS)

Pcomp will produce a value of 0 with an input pressure of 50 kPa and will produce a full-scale value of 1023 with an input pressure of 115 kPa.

$$\text{Pressure (kPa)} = P_{comp} \cdot \left[\frac{115 - 50}{1023} \right] + 50 \quad \text{Eqn. 2}$$

3.4 SPI Device Read/Write Operations

All device read/write operations are memory mapped. Device actions e.g. "Start Conversions" are controlled by writing to the appropriate memory address location. All memory address locations are 6-bit (see [Table 2](#)).

The 8-bit command word comprises:

- the most significant bit which is the Read/Write identifier which is '1' for read operations and '0' for write operations.
- the 6-bit address (from [Table 2](#));
- the least significant bit which is not used and is don't care (X).

The device write commands are shown in [Table 3](#).

Table 3. SPI Write Command

Command	Binary	HEX ⁽¹⁾
Start Conversions	0010010X	0x24

X = don't care

1. The command byte needs to be paired with a 0x00 as part of the SPI exchange to complete the passing of *Start Conversions*.

The actions taken by the part in response to each command are as follows:

Table 4. SPI Write Command Description

Command	Action Taken
Start Conversions	Wake main circuits. Start clock. Allow supply stabilization time. Select pressure sensor input. Apply positive sensor excitation and perform A to D conversion. Select temperature input. Perform A to D conversion. Load the Pressure and Temperature registers with the result. Shut down main circuits and clock.

SPI Read operations are performed by sending the required address with a leading *Read* bit set to '1'. SPI operations require that each byte be addressed individually. All data is transmitted most significant bit first.

Table 5. Example SPI Read Commands

Command	Binary	HEX ⁽¹⁾
Read Pressure MSB	1000000X	0x80
Read Pressure LSB	1000001X	0x82
Read Temperature MSB	1000010X	0x84
Read Temperature LSB	1000011X	0x86
Read Coefficient data byte 1	1000100X	0x88

X = don't care

1. The command byte needs to be paired with a 0x00 as part of the SPI exchange to complete the passing of stated command.

3.5 SPI Timing

Table 6 and Figure 3 describe the timing requirements for the SPI system.

Table 6. SPI Timing

Ref	Function	Symbol	Min	Max	Unit
1	Operating Frequency	<i>Of</i>	—	8	MHz
2	SCLK Period	tSCLK	125	—	ns
3	SCLK High time	tCLKH	62.5	—	ns
4	SCLK Low time	tCLKL	62.5	—	ns
5	Enable lead time	tSCS	125	—	ns
6	Enable lag time	tHCS	125	—	ns
7	Data setup time	tSET	30	—	ns
8	Data hold time	tHOLD	30	—	ns
9	Data valid (after SCLK low edge)	tDDLY	—	32	ns
10	Width CS High	tWCS	30	—	ns

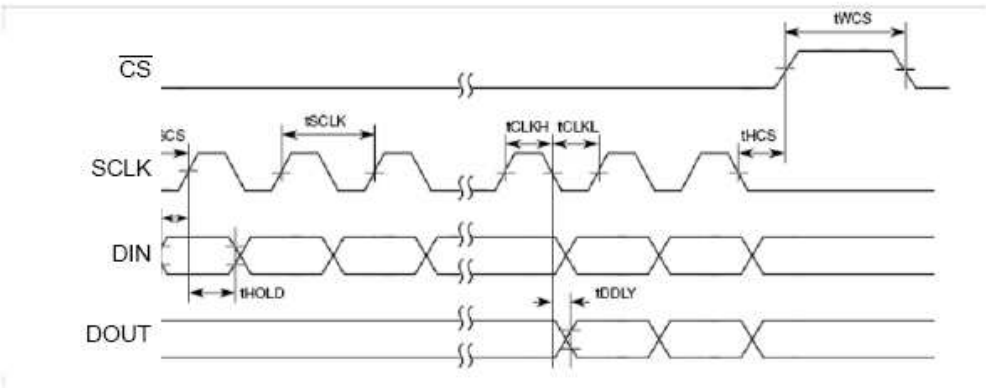


Figure 3. SPI Timing Diagram

3.6 Example of SPI Reading of Coefficients

These are MPL115A1 SPI commands to read coefficients, execute Pressure and Temperature conversions, and to read Pressure and Temperature data. The sequence of the commands for the interaction is given as an example to operate the MPL115A1. Utilizing this gathered data, an example of the calculating the Compensated Pressure reading is given in floating point notation.

SPI Commands (simplified for communication)

Command to Write "Convert Pressure and Temperature" = 0x24
 Command to Read "Pressure ADC High byte" = 0x80
 Command to Read "Pressure ADC Low byte" = 0x82
 Command to Read "Temperature ADC High byte" = 0x84
 Command to Read "Temperature ADC Low byte" = 0x86
 Command to Read "Coefficient data byte 1 High byte" = 0x88

Read Coefficients:

[CS=0], [0x88], [0x00], [0x8A], [0x00], [0x8C], [0x00], [0x8E], [0x00], [0x90], [0x00], [0x92], [0x00], [0x94], [0x00], [0x96], [0x00], [0x00], [CS=1]

Start Pressure and Temperature Conversion, Read raw Pressure:

[CS=0], [0x24], [0x00], [CS=1], [3 ms Delay]
 [CS=0], [0x80], [0x00], [0x82], [0x00], [0x84], [0x00], [0x86], [0x00], [0x00], [CS=1]

NOTE: Extra [0x00] at the end of each sequence to output the last data byte on the slave side of the SPI.

3.7 Example of Pressure Compensated Calculation in Floating-point Notation

a0 coefficient = 2107.875
 b1 coefficient = -2.49512
 b2 coefficient = -1.02069
 c12 coefficient = 0.00086665

Pressure = 415 ADC counts
 Temperature = 513 ADC counts

Pressure Compensation:

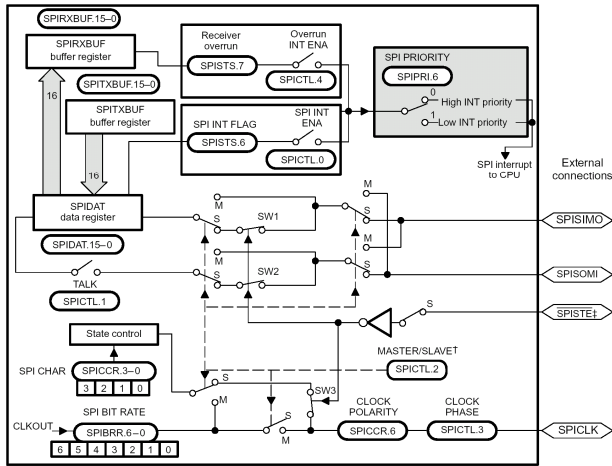
$$P_{\text{comp}} = a_0 + (b_1 + c_{12} \cdot T_{\text{adc}}) \cdot P_{\text{adc}} + b_2 \cdot T_{\text{adc}}$$

Using the evaluation sequence shown in Section 3.3:

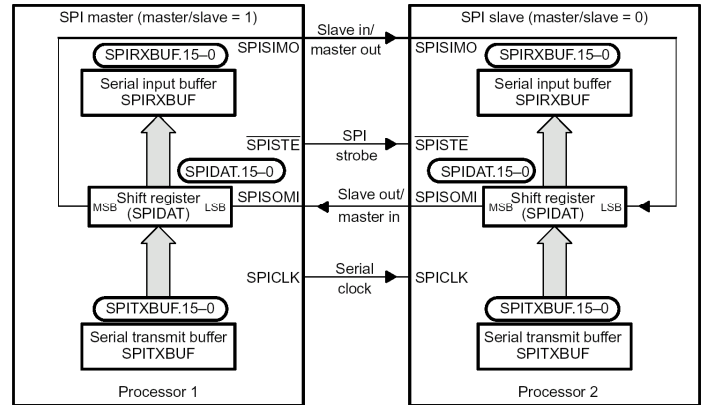
$$\begin{aligned} c_{12}x_2 &= c_{12} \cdot T_{\text{adc}} = 0.00086665 \cdot 513 &= 0.44459 \\ a_1 &= b_1 + c_{12}x_2 = -2.49512 + 0.44459 &= -2.05052 \\ a_1x_1 &= a_1 \cdot P_{\text{adc}} = -2.05052 \cdot 415 &= -850.96785 \\ y_1 &= a_0 + a_1x_1 = 2107.875 + (-850.96785) &= 1256.90715 \\ a_2x_2 &= b_2 \cdot T_{\text{adc}} = -1.02069 \cdot 513 &= -523.61444 \\ P_{\text{Comp}} &= y_1 + a_2x_2 = 1256.90715 + (-523.61444) &= 733.29270 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure (kPa)} &= P_{\text{comp}} \cdot \left[\frac{115 - 50}{1023} \right] + 50 \\ &= 733.29 \cdot \left[\frac{115 - 50}{1023} \right] + 50 \\ &= 96.59 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Contrôleur SPI du TMS320LF2407A



† The diagram is shown in slave mode.
 ‡ The SPISITE pin is driven low externally, meaning the data can be transmitted or received in this mode. Note that switches SW1, SW2, and SW3 are closed in this configuration. The "switches" are assumed to close when their "control signal" is high.



Registre de Contrôle de Configuration du Module SPI : SPICCR

7	6	5-4	3	2	1	0
SPI SW RESET	CLOCK POLARITY	Reserved	SPI CHAR3	SPI CHAR2	SPI CHAR1	SPI CHAR0
RW-0	RW-0	R-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

Note: R = Read access, W = Write access, -0 = value after reset

Bit 7 SPI SW RESET. SPI Software Reset. When changing configuration, you should clear this bit before the changes and set this bit before resuming operation. (See Section 9.4.5.1 on page 9-15.)

0 Initializes the SPI operating flags to the reset condition. Specifically, the RECEIVER OVERRUN Flag bit (SPISTS.7), the SPI INT FLAG bit (SPISTS.6), and the TXBUF FULL Flag bit (SPISTS.5) are cleared. The SPI configuration remains unchanged. If the module is operating as a master, the SPICLK signal output returns to its inactive level.

1 SPI is ready to transmit or receive the next character. When the SPI SW RESET bit is a 0, a character written to the transmitter will not be shifted out when this bit is set. A new character must be written to the serial data register.

Bit 6 CLOCK POLARITY. Shift Clock Polarity. This bit controls the polarity of the SPICLK signal. CLOCK POLARITY and CLOCK PHASE (SPICTL.3) control four clocking schemes on the SPICLK pin. See Section 9.4.4, *SPI Clocking Schemes*, on page 9-12.

0 Data is output on rising edge and input on falling edge. When no SPI data is sent, SPICLK is at low level. The data input and output edges depend on the value of the CLOCK PHASE bit (SPICTL.3) as follows:

- ☐ CLOCK PHASE = 0: Data is output on the rising edge of the SPICLK signal; input data is latched on the falling edge of the SPICLK signal.
- ☐ CLOCK PHASE = 1: Data is output one half-cycle before the first rising edge of the SPICLK signal and on subsequent falling edges of the SPICLK signal; input data is latched on the rising edge of the SPICLK signal.

1 Data is output on falling edge and input on rising edge. When no SPI data is sent, SPICLK is at high level. The data input and output edges depend on the value of the CLOCK PHASE bit (SPICTL.3) as follows:

- ☐ CLOCK PHASE = 0: Data is output on the falling edge of the SPICLK signal; input data is latched on the rising edge of the SPICLK signal.
- ☐ CLOCK PHASE = 1: Data is output one half-cycle before the first falling edge of the SPICLK signal and on subsequent rising edges of the SPICLK signal; input data is latched on the falling edge of the SPICLK signal.

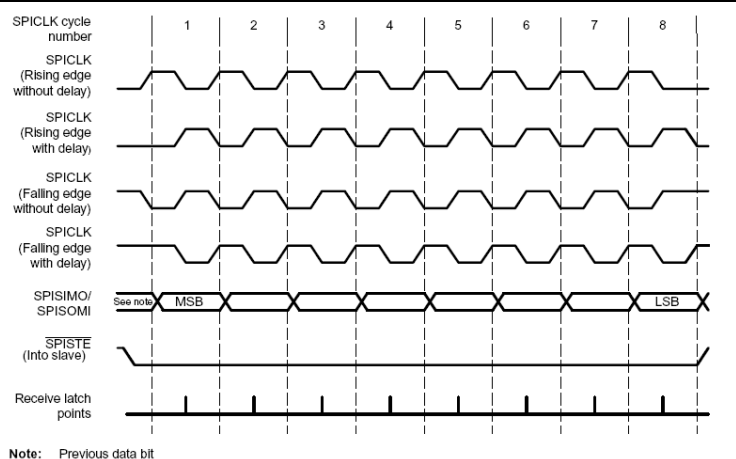
Bits 5-4 Reserved. Reads return zero; writes have no effect.

Bits 3-0 SPI CHAR3-SPI CHAR0. Character Length Control Bits 3-0. These four bits determine the number of bits to be shifted in or out as a single character during one shift sequence.

SPI CHAR3	SPI CHAR2	SPI CHAR1	SPI CHAR0	Character Length
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	0	3
0	0	1	1	4
0	1	0	0	5
0	1	0	1	6
0	1	1	0	7
0	1	1	1	8
1	0	0	0	9
1	0	0	1	10
1	0	1	0	11
1	0	1	1	12
1	1	0	0	13
1	1	0	1	14
1	1	1	0	15
1	1	1	1	16

Modes de configuration de l'horloge (CLOCK POLARITY et CLOCK PHASE)

SPICLK Scheme	CLOCK POLARITY (SPICCR.6)	CLOCK PHASE (SPICTL.3)
Rising edge without delay	0	0
Rising edge with delay	0	1
Falling edge without delay	1	0
Falling edge with delay	1	1



Registre de Contrôle du fonctionnement du module SPI : SPICTL

7-5	4	3	2	1	0
Reserved	OVERRUN INT ENA	CLOCK PHASE	MASTER/SLAVE	TALK	SPI INT ENA
R-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

Note: R = Read access, W = Write access, -0 = value after reset

Bits 7-5 **Reserved.** Reads return zero; writes have no effect.

Bit 4 **OVERRUN INT ENA.** Overrun Interrupt Enable. Setting this bit causes an interrupt to be generated when the RECEIVER OVERRUN Flag bit (SPISTS.7) is set by hardware. Interrupts generated by the RECEIVER OVERRUN Flag bit and the SPI INT FLAG bit (SPISTS.6) share the same interrupt vector.

0 Disables transmission

1 Enables transmission

Bit 3 **CLOCK PHASE.** SPI Clock Phase Select. This bit controls the phase of the SPICLK signal.

0 Normal SPI clocking scheme, depending on the CLOCK POLARITY bit (SPICCR.6)

1 SPICLK signal delayed by one half-cycle; polarity determined by the CLOCK POLARITY bit

CLOCK PHASE and CLOCK POLARITY (SPICCR.6) make four different clocking schemes possible (see Figure 9-3). When operating with CLOCK PHASE high, the SPI (master or slave) makes the first bit of data available after SPIDAT is written and before the first edge of the SPICLK signal, regardless of which SPI mode is being used.

Bit 2 **MASTER/SLAVE.** SPI Network Mode Control. This bit determines whether the SPI is a network master or slave. During reset initialization, the SPI is automatically configured as a network slave.

0 SPI configured as a slave.

1 SPI configured as a master.

Bit 1 **TALK.** Master/Slave Transmit Enable. The TALK bit can disable data transmission (master or slave) by placing the serial data output in the high-impedance state. If this bit is disabled during a transmission, the transmit shift register continues to operate until the previous character is shifted out. When

the TALK bit is disabled, the SPI is still able to receive characters and update the status flags. TALK is cleared (disabled) by a system reset.

0 Disables transmission:

☐ Slave mode operation: If not previously configured as a general-purpose I/O pin, the SPISOMI pin will be put in the high-impedance state.

☐ Master mode operation: If not previously configured as a general-purpose I/O pin, the SPISIMO pin will be put in the high-impedance state.

1 Enables transmission

For the 4-pin option, ensure to enable the receiver's $\overline{\text{SPISTE}}$ input pin.

Bit 0 **SPI INT ENA.** SPI Interrupt Enable. This bit controls the SPI's ability to generate a transmit/receive interrupt. The SPI INT FLAG bit (SPISTS.6) is unaffected by this bit.

0 Disables interrupt

1 Enables interrupt

Registre de Configuration du débit binaire : SPIBRR

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	SPI BIT RATE 6	SPI BIT RATE 5	SPI BIT RATE 4	SPI BIT RATE 3	SPI BIT RATE 2	SPI BIT RATE 1	SPI BIT RATE 0
R-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

Note: R = Read access, W = Write access, -0 = value after reset

Bit 7 **Reserved.** Reads return zero; writes have no effect.

Bits 6-0 **SPI BIT RATE 6-SPI BIT RATE 0.** SPI Bit Rate (Baud) Control. These bits determine the bit transfer rate if the SPI is the network master. There are 125 data-transfer rates (each a function of the CPU clock, CLKOUT) that can be selected. One data bit is shifted per SPICLK cycle. (SPICLK is the baud rate clock output on the SPICLK pin.)

If the SPI is a network slave, the module receives a clock on the SPICLK pin from the network master; therefore, these bits have no effect on the SPICLK signal. The frequency of the input clock from the master should not exceed the slave SPI's SPICLK signal divided by 4.

In master mode, the SPI clock is generated by the SPI and is output on the SPICLK pin. The SPI baud rates are determined by the following formula:

SPI Baud-Rate Calculations

☐ For SPIBRR = 3 to 127:

$$\text{SPI Baud Rate} = \frac{\text{CLKOUT}}{(\text{SPIBRR} + 1)}$$

☐ For SPIBRR = 0, 1, or 2:

$$\text{SPI Baud Rate} = \frac{\text{CLKOUT}}{4}$$

where: CLKOUT = CPU clock frequency of the device
SPIBRR = Contents of the SPIBRR in the master SPI device

Registre d'état du module SPI : SPISTS

7	6	5	4-0
RECEIVER OVERRUN FLAG†‡	SPI INT FLAG†‡	TX BUF FULL FLAG†	Reserved
RC-0	RC-0	RC-0	R-0

Note: R = Read access, C = Clear, -0 = value after reset
† The RECEIVER OVERRUN FLAG bit and the SPI INT FLAG bit share the same interrupt vector.
‡ Writing a 0 to bits 5, 6, and 7 has no effect.

Bit 7 **RECEIVER OVERRUN FLAG.** SPI Receiver Overrun Flag. This bit is a read/clear-only flag. The SPI hardware sets this bit when a receive or transmit operation completes before the previous character has been read from the buffer. The bit indicates that the last received character has been overwritten and therefore lost (when the SPIRXBUF was overwritten by the SPI module before the previous character was read by the user application). The SPI requests one interrupt sequence each time this bit is set if the OVERRUN INT ENA bit (SPICTL.4) is set high. The bit is cleared in one of three ways:

☐ Writing a 1 to this bit

☐ Writing a 0 to SPI SW RESET (SPICCR.7)

☐ Resetting the system

If the OVERRUN INT ENA bit (SPICTL.4) is set, the SPI requests only one interrupt upon the first occurrence of setting the RECEIVER OVERRUN Flag bit. Subsequent overruns will not request additional interrupts if this flag bit is already set. This means that in order to allow *new* overrun interrupt requests the user must clear this flag bit by writing a 1 to SPISTS.7 each time an overrun condition occurs. In other words, if the RECEIVER OVERRUN Flag bit is left set (not cleared) by the interrupt service routine, another overrun interrupt will not be immediately re-entered when the interrupt service routine is exited.

However, the RECEIVER OVERRUN Flag bit should be cleared during the interrupt service routine because the RECEIVER OVERRUN Flag bit and SPI INT FLAG bit (SPISTS.6) share the same interrupt vector. This will alleviate any possible doubt as to the source of the interrupt when the next byte is received.

Bit 6 **SPI INT FLAG.** SPI Interrupt Flag. SPI INT FLAG is a read-only flag. The SPI hardware sets this bit to indicate that it has completed sending or receiving the last bit and is ready to be serviced. The received character is placed in the receiver buffer at the same time this bit is set. This flag causes an interrupt to be requested if the SPI INT ENA bit (SPICTL.0) is set. This bit is cleared in one of three ways:

☐ Reading SPIRXBUF

☐ Writing a 0 to SPI SW RESET (SPICCR.7)

☐ Resetting the system

Bit 5 **TX BUF FULL FLAG.** SPI Transmit Buffer Full Flag. This read-only bit gets set to 1 when a character is written to the SPI Transmit buffer SPITXBUF. It is cleared when the character is automatically loaded into SPIDAT when the shifting out of a previous character is complete. It is cleared at reset.

Bits 4-0 **Reserved.** Reads return zero; writes have no effect.

Codeur incrémental en quadrature GI355

Codeurs incrémentaux
Axe sortant - Bride standard ou synchro
Résolution 5...6000 impulsions

GI355, GI356



GI355 avec bride standard

Caractéristiques électriques	
Alimentation	5 VDC $\pm$ 10 % 4,75...30 VDC
Protection contre les courts-circuits	Oui (4,75...30 VDC)
Courant de service à vide	$\leq$ 30 mA (24 VDC) $\leq$ 60 mA (5 VDC)
Résolution (imp/lour)	5...6000
Signal de référence	Top zéro, largeur 90°
Principe de détection	Optique
Fréq. de commutation	$\leq$ 150 kHz
Signaux de sortie	A 90° B, 0 + compléments
Etage de sortie	Emetteur de ligne RS422 Totem pôle, NPN et PNP
Choc	DIN EN 61000-6-2
Emission	DIN EN 61000-6-4
Conformité	Certification UL/E63076

- Points forts
- Codeur axe sortant $\varnothing$ 10 mm ou $\varnothing$ 6 mm
 - Résolution max. 6000 impulsions/lour
 - Détection optique
 - Bride standard ou synchro
 - Au standard industriel
 - Vitesse de rotation jusqu'à 10000 t/min
 - Format compact
- Option
- Codeur GE355 en version INOX
 - Codeur avec certification ATEX, voir modèle X 700

Caractéristiques mécaniques	
Boîtier	$\varnothing$ 58 mm
Classe de protection	IP 54 sans joint IP 65 avec joint d'étanchéité
DIN EN 60529	
Vitesse de rotation	$\leq$ 10000 t/min
Couple	$\leq$ 0,15 Nm IP 54 $\leq$ 0,03 Nm IP 65

Moment d'inertie	14,5 gcm ²
Charge	$\leq$ 20 N axial $\leq$ 40 N radial
Matériau	Boîtier : aluminium Bride : aluminium
Température d'utilisation	-25...+100 °C (5 VDC) -25...+65 °C (24 VDC)
Humidité relative	95% sans condensation
Résistance	DIN EN 60068-2-6 Vibration 10 g, 16-2000 Hz DIN EN 60068-2-27 Choc 200 g, 6 ms
Poids	250 g
Raccordement	Embase mâle M23, 12 points Câble 1 m
GI355	Axe $\varnothing$ 10 mm Bride standard
GI356	Axe $\varnothing$ 6 mm Bride synchro

Codeurs incrémentaux
Axe sortant - Bride standard ou synchro
Résolution 5...6000 impulsions

GI355, GI356

Références de commande	
Bride standard	Bride synchro
GI355	GI356
Code résolution (voir ci-dessous)	
Raccordement	
C2 Embase axiale mâle, 12 points	
C3 Embase radiale mâle, 12 points	
31 Câble 1 m, axial	
41 Câble 1 m, radial	
Alimentation / Sortie	
22 5 VDC / Emetteur de ligne RS422	
70 4,75...30 VDC / Totem pôle	
72 4,75...30 VDC / Emetteur de ligne RS422 (5 VDC)	
Bride / Axe	
0 Standard / $\varnothing$ 10 mm, IP 54	
A Standard / $\varnothing$ 10 mm + joint, IP 65	
Bride / Axe	
1 Synchro / $\varnothing$ 6 mm, IP 54	
B Synchro / $\varnothing$ 6 mm + joint, IP 65	

Code résolution (Nombre d'impulsions/lour)					
49 (5)	57 (128)	22 (1000)	30 (2500)		
36 (10)	06 (200)	23 (1024)	31 (3600)		
50 (25)	09 (250)	24 (1250)	34 (4096)		
39 (50)	13 (360)	26 (1500)	35 (5000)		
40 (60)	14 (400)	28 (2000)	48 (6000)		
41 (100)	15 (500)	29 (2048)			

Autres résolutions sur demande.
Exemple: Code résolution 23 = 1024 Imp/lour.

Accessoires	
Connecteurs et câbles	
Z 141.001	Connecteur femelle M23, sans câble
Z 141.003	Connecteur femelle M23, câble 2 m
Z 141.005	Connecteur femelle M23, câble 5 m
Z 141.007	Connecteur femelle M23, câble 10 m
Accessoires de montage pour GI355	
Z 119.013	Bague d'adaptation pour transformer une bride standard en bride synchro
Z 119.017	Equerre de fixation pour bride standard
Z 119.025	Bague d'adaptation pour fixer un codeur à bride standard à l'aide d'excentriques
Accessoires de montage pour GI356	
Z 119.006	Excentrique pour codeur à bride synchro. Il faut 3 excentriques pour fixer le codeur
Z 119.015	Embase de fixation pour codeur bride synchro
Z 119.035	Paillet pour codeur $\varnothing$ 58 mm à bride synchro

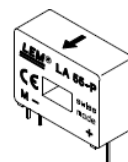
Capteur de courant LA55-P/SP1



Capteur de courant LA 55-P/SP1

$I_{PN} = 50 \text{ A}$

Pour la mesure électronique des courants : DC, AC, Impulsionnels..., avec une isolation galvanique entre le circuit primaire (courant fort) et le circuit secondaire (circuit électronique).



Caractéristiques électriques principales

I_{PN}	Courant primaire efficace nominal	50	A
I_P	Courant primaire, plage de mesure	0 .. ± 100	A
R_M	Résistance de mesure @	$T_A = 70^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ R_{Mmin} R_{Mmax} R_{Mmin} R_{Mmax}	
	avec $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	0 215 0 210 Ω
		@ $\pm 100 \text{ A}_{max}$	0 35 0 30 Ω
	avec $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	0 335 30 330 Ω
		@ $\pm 100 \text{ A}_{max}$	0 95 30 90 Ω
I_{SN}	Courant secondaire efficace nominal	25	mA
K_N	Rapport de transformation	1 : 2000	
V_C	Tension d'alimentation ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Courant de consommation	$10 (@ \pm 15 \text{ V}) + I_S$	mA
V_d	Tension efficace d'essai diélectrique, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV

Généralités

- Capteur de courant de type boucle fermée (à compensation) utilisant l'effet Hall
- Montage sur circuit imprimé
- Boîtier injecté en matière isolante auto-extinguible de classe UL 94-V0.

Particularités

- $I_S = 0 \dots \pm 100 \text{ A}$
- $K_N = 1 : 2000$.

Avantages

- Excellente précision
- Très bonne linéarité
- Faible dérive en température
- Temps de retard court
- Bande passante élevée
- Pas de pertes d'insertion apportées dans le circuit à mesurer
- Grande immunité aux perturbations extérieures
- Surcharges de courant supportées sans dommage.

Applications

- Variateurs de vitesse et entraînements à servomoteur AC
- Convertisseurs statiques pour entraînements à moteur DC
- Applications alimentées par batteries
- Alimentations Sans Interruption (ASI)
- Alimentations à découpage
- Alimentations pour applications de soudage.

Précision - Performances dynamiques

X	Précision @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.65	%
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.90	%
ϵ_L	Linéarité		< 0.15	%
I_O	Courant de décalage @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ Max	
I_{OM}	Courant résiduel ¹⁾ @ $I_S = 0$, après une surintensité de $3 \times I_{PN}$		± 0.10	mA
I_{OT}	Dérive en température de I_O	0°C .. +70°C	± 0.15	mA
		-25°C .. +85°C	$\pm 0.05 \pm 0.25$	mA
t_{ra}	Temps de réaction @ 10 % de I_{Pmax}		< 500	ns
t_r	Temps de retard ²⁾ @ 90 % de I_{Pmax}		< 1	μs
di/dt	di/dt correctement suivi		> 200	A/ μs
f	Bande passante (-1 dB)		DC .. 200	kHz

Caractéristiques générales

T_A	Température ambiante de service	-25 .. +85	°C
T_S	Température ambiante de stockage	-40 .. +90	°C
R_S	Résistance bobine secondaire @	$T_A = 70^\circ\text{C}$ 145 Ω	
		$T_A = 85^\circ\text{C}$ 150 Ω	
m	Masse	18	g
	Normes ³⁾	EN 50178	

Notes : ¹⁾ Conséquence du champ coercitif des éléments magnétiques

²⁾ Avec un di/dt de 100 A/ μs

³⁾ Une liste des essais correspondants est disponible sur demande

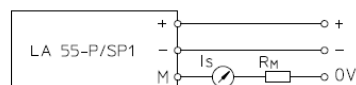
Branchement

Borne + : alimentation +12 .. 15 V

Borne - : alimentation -12 .. 15 V

Borne M : mesure

Raccordement



Remarques générales

- I_S est positif lorsque I_P circule dans le sens de la flèche.
- La température du conducteur primaire ne doit pas dépasser 90°C.
- Les performances dynamiques (temps de réaction et di/dt) sont optimales avec une barre primaire qui remplit parfaitement le trou de passage.
- Lorsque le circuit primaire est constitué d'une ou plusieurs spires, ces dernières seront bobinées autour de la partie supérieure du capteur afin d'entourer le dispositif de mesure de flux.

Capteur de tension LV25-P/SP2



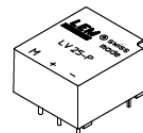
Capteur de tension LV 25-P/SP2

Pour la mesure électronique des tensions : DC, AC, Impulsionnelles..., avec une isolation galvanique entre le circuit primaire (haute tension) et le circuit secondaire (circuit électronique).



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 1500 \text{ V}$$



Caractéristiques électriques principales

I_{PN}	Courant primaire efficace nominal	10	mA
I_P	Courant primaire, plage de mesure	$0 \dots \pm 14$	mA
R_M	Résistance de mesure	R_{Mmin} R_{Mmax}	
	avec $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	100 343 Ω
		@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	100 183 Ω
I_{SN}	Courant secondaire efficace nominal	25	mA
K_N	Rapport de transformation	2500 : 1000	
V_C	Tension d'alimentation ($\pm 5 \%$)	± 15	V
I_C	Courant de consommation	$10 + I_S$	mA
V_d	Tension efficace d'essai diélectrique, 50 Hz, 1 mn	4.1	kV

Précision - Performances dynamiques

X_G	Précision globale @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.8	%
ε_L	Linéarité	< 0.2	%
I_0	Courant de décalage @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	
I_{OT}	Dérive en température de I_0	± 0.15 ± 0.60	mA
	+ $25^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$	± 0.10 ± 0.80	mA
	- $40^\circ\text{C} \dots + 25^\circ\text{C}$		
t_r	Temps de retard ¹⁾ @ 90 % de V_{PN}	25	μs

Caractéristiques générales

T_A	Température ambiante de service	$-40 \dots + 85$	$^\circ\text{C}$
T_S	Température ambiante de stockage	$-45 \dots + 90$	$^\circ\text{C}$
R_P	Résistance bobine primaire @ $T_A = 85^\circ\text{C}$	300	Ω
R_S	Résistance bobine secondaire @ $T_A = 85^\circ\text{C}$	117	Ω
m	Masse	22	g
	Normes ²⁾	EN 50155	

Généralités

- Capteur de tension de type boucle fermée (à compensation) utilisant l'effet Hall
- Boîtier injecté en matière isolante auto-extinguible de classe UL 94-V0.

Particularités

- $V_d = 4.1 \text{ kV}$
- $T_A = -40^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$
- Matériel ferroviaire.

Principes d'utilisation

- Pour mesurer une tension, il faut prélever un courant proportionnel à la tension à mesurer
- Le primaire du capteur est à raccorder directement aux bornes de la tension à mesurer avec une résistance R_1 en série.

Avantages

- Excellente précision
- Très bonne linéarité
- Faible dérive en température
- Faible temps de retard
- Grande bande passante
- Grande immunité aux perturbations extérieures
- Faible perturbation en mode commun.

Applications

- Variateurs de vitesse et entraînements à servomoteur AC
- Convertisseurs statiques pour entraînements à moteur DC
- Applications alimentées par batteries
- Alimentations Sans Interruption (ASI)
- Alimentations pour applications de soudage.

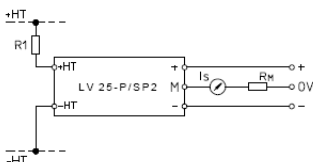
Notes : ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (Constante de temps L/R, engendrée par la résistance et l'inductance du circuit primaire)

²⁾ Une liste des essais correspondants est disponible sur demande.

Branchement

Borne + : alimentation +15 V
Borne M : mesure
Borne - : alimentation -15 V

Raccordement



Remarque générale

- I_S est positif lorsqu'une tension positive V_P est appliquée à la borne +HT.

Indications pour l'utilisation du capteur de tension type LV 25-P/SP2

Résistance primaire R_1 : la précision optimale du capteur est obtenue avec le courant primaire nominal. Dans la mesure du possible, R_1 sera dimensionnée pour que la tension nominale à mesurer corresponde à un courant primaire de 10 mA.

Exemple : soit une tension à mesurer $V_{PN} = 250 \text{ V}$
a) $R_1 = 25 \text{ k}\Omega / 2.5 \text{ W}$, $I_P = 10 \text{ mA}$ Précision = $\pm 0.8 \%$ de V_{PN} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)
b) $R_1 = 50 \text{ k}\Omega / 1.25 \text{ W}$, $I_P = 5 \text{ mA}$ Précision = $\pm 1.6 \%$ de V_{PN} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)

Plage d'utilisation : compte tenu d'une part de la résistance du bobinage primaire (qui doit être faible par rapport à R_1 pour que sa variation en température soit négligeable) et d'autre part de l'isolation, ce capteur convient pour la mesure de tension nominale de 10 V à 1500 V.