

INSTRUCTION MANUAL
HF 160 WATER HAMMER TEST SET



(The equipment sent to a customer may have some differences from the above picture, mainly depending on options and our continuing improvement of products.)

ESSOM COMPANY LIMITED

508 SOI 22/1 SOMDET PHRACHAO TAKSIN RD.
BUKKALO THONBURI BANGKOK 10600, THAILAND
TEL. +66 (0) 24760034 FAX +66 (0) 24761500
E-mail: essom@essom.com
www.essom.com



CONTENTS

	Page
Receipt of goods	A
Safety Guidelines	B-C
1. General description	1-1
2. Theory	2-1
3. Experimental procedures	3-1
4. Typical data	4-1
5. Sample calculations	5-1
6. Sample graphs	6-1
Addendum	
Addendum 1 Pressure transducer	
Addendum 2 Analog to digital signal converter	
Addendum 3 Certificate of calibration	

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any material form (including photocopying or storing in any medium by electronic means and whether or not transiently or incidentally to some other use of this publication) without the written permission from ESSOM COMPANY LIMITED.

RECEIPT OF GOODS

1. On Receipt of Goods

- a) On receipt of the goods at the consignee's premises, the shipment should be immediately inspected for any damages or missing package. This should be checked against the packing list or shipping documents. Any damage should be reported immediately to the insurance agent.
- b) The package should then be open to check items or parts against the delivery list. Any damaged or missing items should be immediately claimed to the insurance agent with copy to the supplier.
- c) If insurance has been arranged by the buyer then you must notify your insurer in writing of any damage or loss of parts which was observed regarding this shipment within a specified period of time as stated in the Terms and Conditions. This should include detailed photographs of the damaged equipment.
- d) If insurance has been arranged by the seller you should notify the insurance representative along with any correspondence including the insurance certificate supplied by the seller. These should include detailed photographs for evaluation of damages or replacement parts pertaining to the shipment.
- e) The supplier will only replace damaged items or missing on notification by the insurance company that the claim has been accepted. The insurance company may refuse responsibility if parts are damaged or missing while under custody's for a long time without prior claim. Immediate claim is therefore vital.

2. Manufacturers Liability

- a) Before proceeding to install, commission, or operate the equipment listed in the instruction manual, we would like to alert the user to the health and safety aspects of people who will work on or operate our equipment with regard to the liability of the manufacturers or suppliers.
- b) Manufacturers or suppliers are absolved of any responsibilities with regard to misuse of their equipment causing harm or financial charges being incurred against them from clients or third parties for consequences of failure or damage of the equipment in any way if the equipment is not installed, maintained and operated as outlined in the instruction manual published by the manufacturers or suppliers.
- c) In order to safeguard the students and operators of the equipment it is vital that all safety aspects as outlined in the instruction manual are observed.

3. Safety Guidelines

3.1 General Safety Concerns

Before proceeding to install, commission, or operate the equipment described in the instruction manual we would like to alert you to the dangerous potential hazards that would be present if safety practices were not performed in accordance with the local standards and governing bodies' regulations.

-Injury would occur to the operational staff of the equipment through misuse, electric shock, rotating equipment hazards and lack of cleanliness.

To be able to achieve the aim, of "accidents can be avoided" it must be ensured that the equipment is installed correctly, regularly maintained and operators of the equipment are made aware of the potential hazards associated with the particular equipment.

We would like to inform our valuable customers of the safety guide lines when using their equipment.

3.2 Awareness of Safety Hazards

(a) Before attempting to work on the equipment the personnel who are going to install, commission, or operate the equipment must be qualified and fully aware of all the manufacturers and suppliers recommendations and instructions.

(b) Ensure that the all the recommendations specified in the instruction manuals are maintained as stated in the contents.

4. Electrical Safety

(a) Ensure that the person who works on the equipment is a qualified electrical engineer/technician who is competent in the safety aspects and operational mode of the equipment.

(b) If the electrical supply to the equipment is supplied by means of a portable trailing cable, protective devices such as an Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) must be installed.

This protective device must have a very high sensitivity (20-30mA). This device is also referred to as a residual current device(R C D) within the electrical supply circuitry for personnel protection.

(c) The supply cable must be sized accordingly for all fault and physical conditions pertaining to its use. The supply network must also incorporate a protection device that will disconnect and isolate the supply voltage in the case of an overload in a specified period of time without causing any damage to the equipment. (An overload relay)

5. Installation

(a) On receipt of the equipment extreme care should be used to avoid damage to the equipment on handling and unpacking. If slings are used ensure they are held on a rigid part of the equipment, the structure. In the case of a mechanical lift such as a fork lift ensure the lifting forks are beneath the structure framework so that no damage will occur during the lifting operation.

(b) In some cases it is imperative that the equipment be installed on a level and solid foundation

5.1 Electrical Supply Cables

(a) The normal color code of the power cables supplied on this equipment is as follows:

- Black-----Line.
- Gray or white -----Neutral.
- Green-Yellow-----Ground.

(b) The three phase power cable has five wires.

- Red, blue and black -----Line.
- Light gray or white -----Neutral.
- Green-Yellow -----Ground.

5.2 General Precautions for Equipment with Water Including Evaporative Cooling Towers

(a) Any water contained in the system should be drained regularly. If it is left in the system for a long period of time without circulation it will stagnate.

(b) The equipment should be flushed regularly with clean water.

(c) Impurities in the water will cause scale or algae and must be cleaned on a regular basis. An anti rust additive such as used in the automobile industry is recommended to inhibit this process.

(d) The water should be at temperature under 45 degrees C to maintain effectiveness.

(e) Many of the problems encountered with water contamination can be reduced and prevented by means of a water treatment program being introduced using the expertise available locally or on site.

5.3 Rotating Equipment

(a) If the equipment is supplied with any rotating parts such as a motor, generator, fan etc these items are provided with a protection shield or a guard to protect the operator from any dangers which may occur when the rotating parts fail. These guards must be in place whenever the rotating parts are in operation (rotating) and only removed for maintenance periods.

After maintenance is carried out ensure that the machine guards are replaced back in service. Do not operate any rotating parts unless machine guards are in place.

5.4 Steam Equipment

(a) When using steam equipment, there are a number of vital precautions which must be remembered by the operators and maintenance crew and placed into operation when both operating and performing maintenance schedules. During operation of this equipment the steam and water are at a high temperature and pressure which can have a very damaging and hazardous effects on students if safety precautions are not observed.

(b) Ensure that critical values of temperature and pressures listed in the instruction manual are maintained and not exceeded on the equipment.

(c) Safety valves should be calibrated on a regular basis with mandatory service records maintained. This should also include pressure reducing valves.

(d) Calibration of any instrumentation such as pressure gauges, thermometers and sensors should be checked regularly.

(e) Visual inspection of the equipment should be regularly observed for leaks of steam etc and any frameworks or joints should have the hardware checked for tightness.

(f) Always use protective clothes including gloves when carrying out maintenance on the equipment.

5.5 High Temperature Equipment

(a) When using high temperature equipment there are a number of vital precautions which must be remembered by the operators and maintenance crew and observed when both operating and performing maintenance schedules. During operation of this equipment the air, gas or water is at a high temperature and pressure which can have a very damaging and hazardous effect on students if safety precautions are not observed.

(b) Ensure that critical values of temperature and pressures listed in the instruction manual are maintained and not exceeded on the equipment.

(c) Calibration of any instrumentation such as, thermometers and sensors must be checked regularly for safe operation.

6. Maintenance Safety Practices

(a) Always isolate the equipment from the electrical supply when carrying out maintenance on the equipment

(b) Ensure that safety notices are placed on the equipment supply advising personnel that the equipment is being worked on, inspected and should not be operated.

(c) Check the operation of any protective devices, such as an ELCB so that it operates in accordance with its specifications thus ensuring the safety of all operational personnel working on the equipment. Any malfunction of the device must be corrected by a qualified electrician before returning the equipment back to a service condition.

(d) Ensure on completions of the work that the equipment is returned to its original state and that no covers, panels are left open along with loose screw drivers, spanners are left in the equipment.

(e) If water is used with the equipment then there are certain preventative mandatory regulations that have to be taken to prevent infection from harmful micro organisms.

7. General Safety Conditions when Operating or Maintaining the Equipment

(a) When operating or carrying out maintenance on the equipment the Health and Safety of the students can be safeguarded in many ways by wearing protective clothing.

(b) Loose fitting clothes should never be worn in a laboratory. These clothes can cause a serious accident if caught in rotating equipment, i.e. tie etc.

(c) Protective gloves must be used if handling toxic materials or where there is a high temperature present.

(d) Ear protectors should be worn when operating noisy equipment.

(e) Eye protection should always be used when there is a risk to the eyes.

INSTRUCTION MANUL

HF 160 WATER HAMMER TEST SET

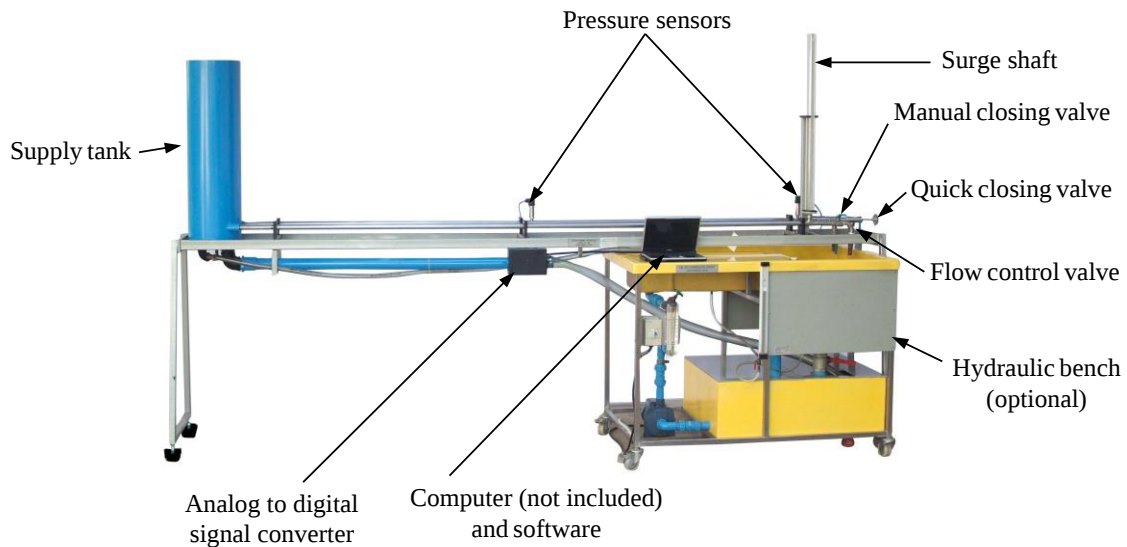


Figure 1-1 HF 160 Water hammer test set

1. GENERAL DESCRIPTION

This apparatus is used to study the effects of both pipe surge and water hammer using two separate straight pipes with a constant head tank.

Pipe surge employs a clear acrylic surge shaft to demonstrate gradual velocity change, hence pressure rise and its oscillations on slow valve closing. Water hammer employs a quick closing valve and two pressure sensors-one next to the valve and another further away. Sudden rise in pressure on quick closing valve can be demonstrated on a computer (separately supplied). A Hydraulics Bench (separately supplied) with a measuring tank, a storage tank and a pump is used for both water supply and flow rate, hence velocity, measurement.

1.1 Technical Data

- | | | |
|---------|---|--|
| 1.1.1 | Constant head tank | : 900 mm high. 200 mm ID, with over flow pipe. |
| 1.1.2 | Delivery pipes: | |
| 1.1.2.1 | Water surge | : Stainless steel surge pipe, 21 mm ID x 3 m long and a 40 mm ID x 900 mm high clear acrylic surge shaft, with a slow closing valve, and a flow control valve. |
| 1.1.2.2 | Water hammer | : Stainless steel water hammer pipe, 21mm ID x 3 m long with a quick closing valve. |
| 1.1.3 | Pressure sensor | : 2 ea 1.5 m apart on water hammer pipe, Response frequency 5 kHz, Linearity and hysteresis $\pm 0.2\%$. |
| 1.1.4 | Computer interface unit, and software for data display of pressure waves on computer (separately supplied). | |
| | - Analog inputs | : 8 single- ended, 4 differential. |
| | - Input resolution | : 14 bits single- ended. |
| | - Max sampling rate | : Single channel, 48 kS/s |
| | - USB specification | : USB 2.0 full-speed |
| | - USB bus speed | : 12 Mb/s |
| 1.1.5 | Power supply | : 220 V, 1 Ph, 50 Hz. Other power supply is available on request. |

1.2 Typical tests

- 1.2.1 Pipe surge and oscillations in surge shaft.
- 1.2.2 Friction loss between head tank and surge shaft.
- 1.2.3 Pressure profiles for water hammer and comparison with theoretical values.
- 1.2.4 Determination of the velocity of sound through a fluid in a pipe.

1.3 Optional Equipment

1.3.1 HB 100 Hydraulic bench.

1.3.2.1 Measuring tank : Stepped fiber glass, 10 and 45 l.

1.3.2.2 Storage tank : Fiber glass 160 l

1.3.2.3 Pump : 0.37 kW

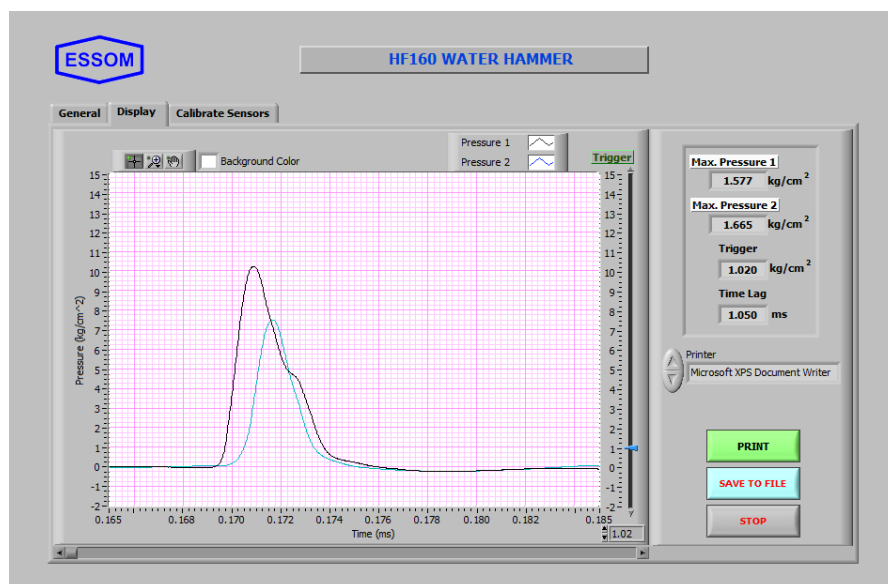


Figure 1-2 Pressure wave

2. THEORY

2.1 Introduction

When water flows in a pipe it has kinetic energy. If a valve at the end of the pipe is closed this kinetic energy must be dissipated to minimise damages to the pipe. If the pipe is very long such as hydro power plant penstock sudden closure of the water flow can result in penstock pipe damage. Sudden closing of a pipe which flow will have water flowing in it result in high pressure waves within the pipe at many times the normal pressure. This pressure wave will travel in the pipe at a velocity equal to the speed of sound in water. The wave travels back and forth between supply tank and the closing valve creating vibrations and loud noise. This is known as a water hammer.

Dissipating kinetic energy of the flowing water can be done in many ways such as employing a surge shaft at the end of the pipe.

HF160 Water hammer test set has two sets of pipes, one for pipe surge experiments and the other one for water hammer experiment.

2.2 Relevant Theory on A Pipe Surge:

Assuming no friction loss

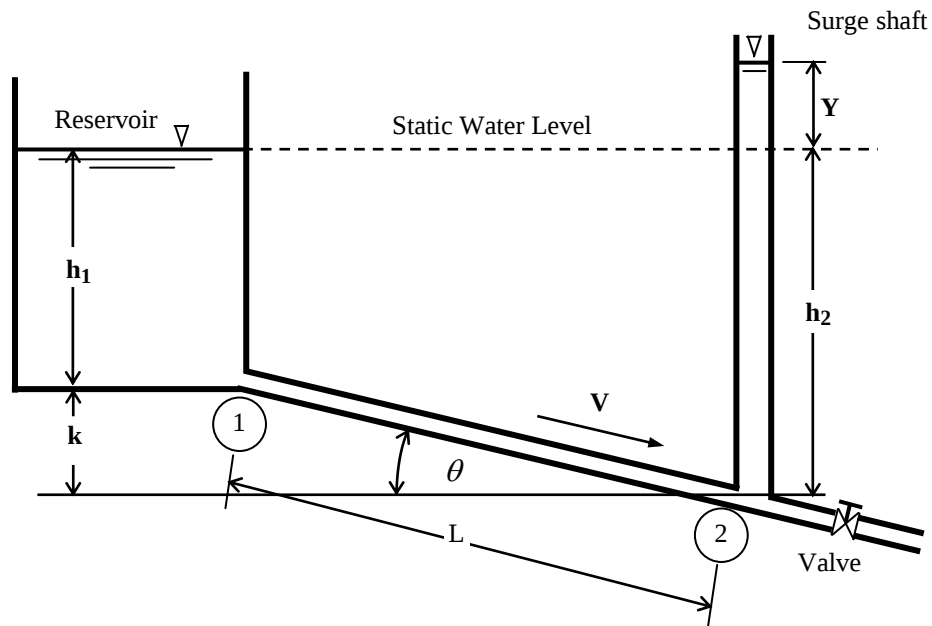


Figure 2-1 Flow in a pipe

Symbols:

- A = Pipe cross section
- A_T = Surge shaft cross section
- V = Flow velocity in pipe
- Y = Level in surge shaft above supply tank level

$\frac{dY}{dt}$ = Rate of level change in surge shaft

t = Time after flow through the valve is changed (closed)

q = Rate of flow

h_L = Head loss due to flow in pipe

θ = Slope of the pipe

From Newton's second law

$$\sum F = m \times a$$

$$\left[\begin{array}{c} \text{Forcedure to pressure} \\ \text{Difference in pipe} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Gravity in the} \\ \text{direction of flow} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Frictionloss} \\ \text{in pipe} \end{array} \right] = \text{mass} \times \text{accelerati on}$$

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 + W \sin \theta - \gamma A h_L = m \left(\frac{dV}{dt} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Since

$$p_1 = \rho g h_1$$

$$p_2 = \rho g (h_2 + Y)$$

$$m = \rho A L$$

$$W = m g = \rho A L g$$

From Fig. 2- 1: $k = L \sin \theta$

$$h_2 = h_1 + k$$

Substitute the above in Eq. 1

$$\rho g A h_1 - \rho g A (h_2 + Y) + (\rho A L) g \sin \theta - \rho g A h_L = (\rho A L) \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

$$\rho g A h_1 - \rho g A [(h_1 + k) + Y] + \rho g A k - \rho g A h_L = (\rho A L) \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

$$\rho g A h_1 - \rho g A h_1 - \rho g A k - \rho g A Y + \rho g A k - \rho g A h_L = \rho A L \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

Divide through by $\rho g A$

$$\frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + Y + h_L = 0 \dots\dots\dots (2)$$

From continuity equation:

Rate of flow in pipe = Rate of flow through the valve + Rate of flow to surge shaft

$$AV = q + A_T \left(\frac{dY}{dt} \right)$$

or

$$V = \frac{q}{A} + \frac{A_T}{A} \left(\frac{dY}{dt} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Substitute V in Eq. 2

$$\frac{L}{g} \frac{d}{dt} \left[\frac{A_T}{A} \frac{dY}{dt} + \frac{q}{A} \right] + Y + h_L = 0 \dots\dots\dots (4)$$

If the valve is closed, $q = 0$ and $h_L = 0$

$$\frac{A_T}{A} \frac{L}{g} \left[\frac{d^2 Y}{dt^2} \right] + Y = 0$$

or

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \frac{A g}{A_T L} Y = 0 \dots\dots\dots (5)$$

If

$$\sqrt{\frac{Ag}{A_T L}} = \Omega$$

Eq. 5 becomes

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \Omega^2 Y = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

As the flow in the surge shaft (movement of level) is a Simple Harmonic Motion.
Period of oscillation

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{1}{\Omega^2}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{1}{A g / A_T L}} = 2\pi \sqrt{\frac{A_T L}{A g}} \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

Amplitude Y in the surge shaft is found from velocity u in the tank divide by Ω , thus

$$Y = \frac{u}{\Omega} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Where: $u = \frac{dY}{dt}$ = orbital velocity for Simple Harmonic Motion in the surge shaft.

The amplitude Y is maximum when there is no flow through the valve or $q = 0$

Thus from Eq. 3

$$\begin{aligned} V_{q=0} &= \frac{A_T}{A} \times \frac{dY}{dt} \\ &= \frac{A_T}{A} \cdot u \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

Substituting u from Eq. 9 in Eq. 8 gives:

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= \frac{A}{A_T} V_{q=0} \times \frac{1}{\Omega} \\ &= \frac{A}{A_T} V_{q=0} \times \sqrt{\frac{A_T L}{A g}} \\ &= V_{q=0} \sqrt{\frac{L A}{g A_T}} \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

Where: $Y_{\max}$ = maximum amplitude corresponding to maximum level in the surge shaft.

No friction is considered in the above analysis. If friction is considered and approximate solutions are applied for the case of instantaneous valve closure,

$$\text{Maximum amplitude in surge shaft} = Y - 0.6h_L$$

or

$$\text{Maximum amplitude in surge shaft} = Y \left(1 - \frac{h_L}{3Y} \right)^2$$

2.3 Relevant Theory on Water Hammer

If the valve is suddenly closed, the kinetic energy of the flowing water is converted to potential energy due to strain in the water and is in the form of pressure.

Kinetic energy lost = Strain energy gained

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} m V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} A L \\ \frac{1}{2} (\rho A L) V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} A L \\ \frac{1}{2} \left(\rho \frac{\pi d^2}{4} L \right) V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} \frac{\pi d^2}{4} L\end{aligned}$$

Where: E_v = Bulk's modulus or volume modulus of elasticity of water, N/m^2

$$\therefore p = V \sqrt{E_v \rho} \quad \dots\dots\dots (11)$$

But the velocity of sound in pipe is given by

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Substituting E_v from Eq. 12 in Eq. 11 gives:

$$\begin{aligned}p &= V \sqrt{(c^2 \rho) \rho} \\ &= \rho V c \quad \dots\dots\dots (13)\end{aligned}$$

The sudden rise in pressure is transmitted from the valve to pipe at the velocity of sound to the supply tank then reflected back to the valve and back to the supply tank so on so forth. The amplitude of the pressure wave is diminishing with each wave.

Since there are two pressure sensors in the pipe. The one next to the closing valve will first sense the pressure wave. As the wave moves towards the supply tank the second pressure sensor will sense the pressure wave later. The time difference between the two sensors is called delay time or lag time

$$t = \frac{L}{c}$$

Where: t = Lag time
 L = Distance between the two sensors
 c = Velocity of sound

Thus we can calculate the velocity of sound from the measured lag time and compare to theory

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left(1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right)}}$$

Where: t_p = Pipe wall thickness, m
 E = Young's modulus or modulus of elasticity of the pipe, N/m^2
 d = Pipe inside diameter, m
 ρ = Density of water, kg/m^3

3. EXPERIMENTAL PROCEDURES

The equipment is supported on four legs with adjusting screws. Once the equipment is in place, the legs should be adjusted to ensure that the equipment is level for accurate measurements.

3.1 Pipe Surge Experiment

3.1.1 Objective:

- (a) To demonstrate surges in a pipe.
- (b) To determine surge oscillation.
- (c) To demonstrate friction loss in pipe between supply tank and the surge shaft.

3.1.2 Equipment set up

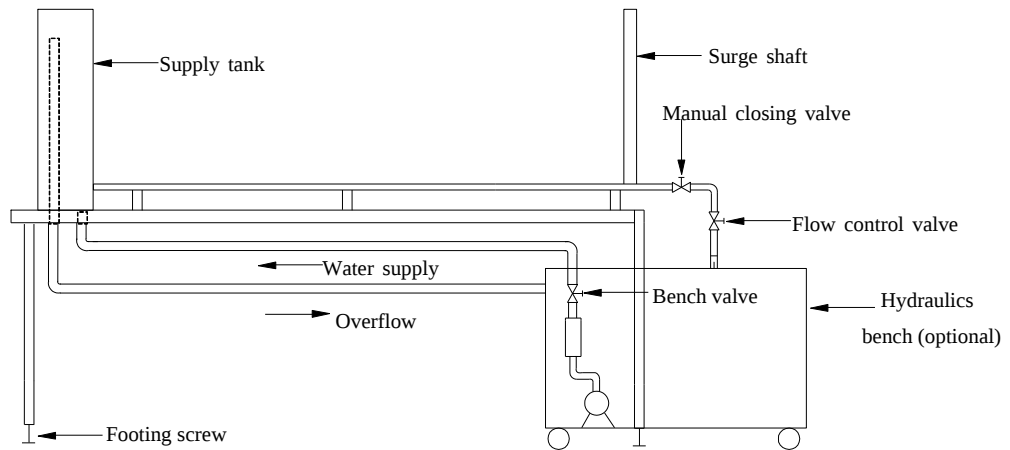


Figure 3-1 Pipe surge equipment set up

3.1.3 Summary of theory

- (a) Head loss in a pipe,

$$h_L = h_s - \frac{V^2}{2g}$$

Where: h_s = Static head of the surge shaft when there is no flow

$$\frac{V^2}{2g} = \text{Velocity head of water in pipe}$$

- (b) Period of oscillations, $T = 2\pi \sqrt{\frac{L A_T}{g A}}$

- (c) Maximum level in surge shaft, $Y_{\max} = \frac{A}{A_T} V_{q=0} \sqrt{\frac{A_T L}{g A}}$

3.1.4 Experimental procedures

- 3.1.4.1 Put the equipment over a Hydraulics Bench and set the footing screws to ensure the equipment is level. (Surge shaft vertical)
- 3.1.4.2 Fill up the bench storage tank to nearly full. Connect the bench outlet to the supply tank and tank over flow back to the bench.
- 3.1.4.3 Close the flow control valves for the water hammer pipe and the surge pipe.
- 3.1.4.4 Start the bench pump.
- 3.1.4.5 Open the bench outlet valve and adjust the flow until the supply tank has an over flow.
- 3.1.4.6 Record the level of water in the surge shaft.
- 3.1.4.7 Open the flow control valve and adjust the flow from the bench until a slight over flow is observed.
- 3.1.4.8 Wait until the level in the surge shaft is stable then record the level.
- 3.1.4.9 Measure the flow rate using the Hydraulics Bench (record volume and time).
- 3.1.4.10 Close the manual valve quickly record the time to reach the maximum level and record the level.
- 3.1.4.11 Record the time to complete the first cycle of oscillation.
- 3.1.4.12 Wait until the level in the surge shaft is stable and record the level again. (it should be the same as in 3.1.4.6).
- 3.1.4.13 Repeat the experiment 3 times to obtain the average.

3.2 Water Hammer Experiment

3.2.1 Objective: To study the characteristics of a water hammer

3.2.2 Equipment set up

The equipment is set up as per the following figure.

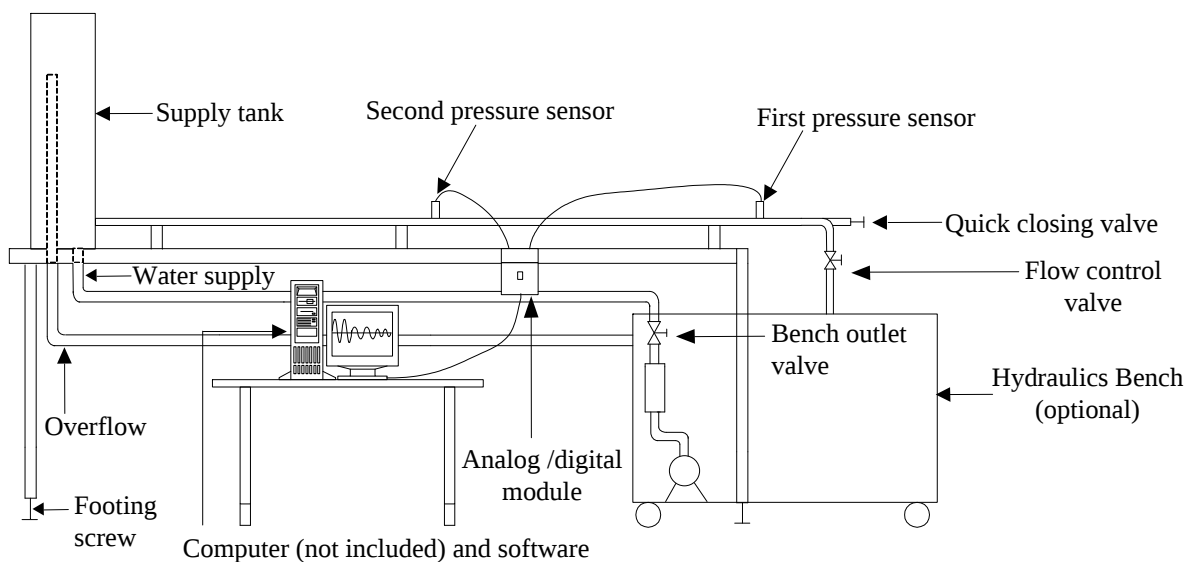


Figure 3-2 Water hammer equipment set up

3.2.3 Summary of theory

- Velocity of sound

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left(1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right)}}$$

- Pressure,

$$p = \rho V c$$

- Duration of first pulse, $T = \frac{2L}{c}$

3.2.4 Experiment procedures

- 3.2.4.1 Set the equipment over a Hydraulics Bench and adjust the footing screws of equipment to set level.
- 3.2.4.2 Fill the Hydraulics Bench storage tank to nearly full. Connect bench pipe outlet to supply the tank and supply tank over flow back to the bench.
- 3.2.4.3 Close flow control valve for pipe surge the Hydraulics Bench outlet valve and close the water hammer flow control valve.
- 3.2.4.4 Open the quick closing valve by pushing in the stem and twist to lock.
- 3.2.4.5 Switch on the pump. Slowly open the bench outlet valve until small overflow is observed at flow rate about 30 lpm.
- 3.2.4.6 Open the water hammer flow control valve.
- 3.2.4.7 Plug in power supply of the sensors without turn on the power and connect signal from the A/D module the computer.
- 3.2.4.8 Turn on the computer, turn on power supply to the sensors and open water hammer program.
- 3.2.4.9 Start the program by click  and set the signal detect level about 2 to 4 kg/cm².
- 3.2.4.10 Waiting for the “start” lamp then release the quick closing valve by twist the knob to unlock.

3.2.5 Calculations and recording of data

In the case a storage oscilloscope is used, setting must be made to convert the voltage reading to pressure reading.

Where:

$$p = N_v \times A \times C$$

p = Pressure, bar
 N_v = Oscilloscope reading, number of division.

$$A = \frac{\text{Set voltage}}{\text{number of deviation}}, \frac{\text{mV}}{\text{div}}$$

$$C = \text{constant} = \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV}} \text{ or from calibration curve (optional)}$$

Example

If

$$N_v = 4 \text{ div.}$$

$$A = \frac{2 \text{ mV}}{\text{div}}$$

$$C = \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV}}$$

Then

$$P = N_v \times A \times C$$

$$= 4 \text{ div} \times \frac{2 \text{ mV}}{\text{div}} \times \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV}} = 11.024 \text{ bar}$$

Similarly the horizontal scale on the oscilloscope represents the time scale and can determine the time lag between two pressure waves.

$$\Delta t = N_h \times T$$

Where: Δt = time lag, ms

N_h = scale reading, div

T = time scale, $\frac{\text{ms}}{\text{div}}$ (Set from oscilloscope)

Example

If $N_h = 1.1 \text{ div}$

$$T = 1 \frac{\text{ms}}{\text{div}}$$

Then $\Delta t = 1.1 \text{ div} \times 1 \frac{\text{ms}}{\text{div}}$
 $= 1.1 \text{ ms}$

In the case of reading from computer monitor the time scale is set able from computer. The pressure scale is calibrated against calibrated pressure gauge from ESSOM factory to read in kg/cm^2

When reading ΔT , it is necessary to read ΔT at the beginning of the pressure waves.

DATA SHEET
PIPE SURGE EXPERIMENT
HF 160 WATER HAMMER TEST SET

Test by.....Date.....

Pipe inside diameter (21 mm) = ----- m
 Pipe cross section (A) = ----- m²
 Surge shaft cross sectional (A_T) = ----- m²
 Volume from hydraulic bench (Vol.) = ----- m³
 Time (t) = ----- s
 Rate of flow in pipe (Q) = Vol./t = ----- m³/s
 Flow velocity in pipe (V) = Q/A = ----- m/s
 Static head (h_s) = ----- m of water
 Maximum level of surge shaft after valve closing, (repeat experiment)

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Level (h _{max})									

Actual time for one complete cycle (T_{actual}) = ----- s
 Maximum level Y_{max} = h_{max} - h_s = ----- m

From theory $T = 2\pi \sqrt{\frac{L A_T}{g A}}$ = ----- s
 $Y_{max} = \frac{A}{A_T} V_{q=0} \sqrt{\frac{A_T L}{g A}}$ = ----- m

	Theory	Experiment	Difference (%)
Time for one complete cycle, T (s)			
Maximum level, Y _{max} (m)			

4. TYPICAL DATA

DATA SHEET PIPE SURGE EXPERIMENT HF 160 WATER HAMMER TEST SET

Test by.....K.Pornsit.....Date.....Oct 7, 02.....

Pipe inside diameter (21 mm) = 0.021 m

Pipe cross section $A = \frac{\pi}{4}(0.021 \text{ m})^2$ = 0.000346 m²

Surge shaft cross section $A_T = \frac{\pi}{4}(0.04 \text{ m})^2$ = 0.001257 m²

Volume from hydraulic bench (Vol.) = 0.008 m³

Time (t) = 25.68 s

Rate of flow in pipe (Q) = $\text{Vol.}/t = \frac{0.008 \text{ m}^3}{25.68 \text{ s}}$ = 0.000312 m³/s

Flow velocity in pipe (V) = $Q/A = \frac{0.000312 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000346 \text{ m}^2}$ = 0.9017 m/s

Static head (h_s) = 0.614 m

Maximum level of surge shaft after valve closing, (repeat experiment)

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Level (h _{max})	0.914								

Actual time for one complete cycle (T_{actual}) = 6.24 s

Maximum level Y_{max} = h_{max} - h_s = 0.914 - 0.614 = 0.3 m

From Eq. 7 in theory

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L A_T}{g A}} = 2\pi \sqrt{\frac{3\text{m} \times 0.001257\text{m}^2}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.000346\text{m}^2}} = 6.6226 \text{ s}$$

From Eq. 10

$$Y_{\text{max}} = V_{q=0} \sqrt{\frac{AL}{A_T g}} = 0.9017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{0.000346\text{m}^2 \times 3\text{m}}{0.00125\text{m}^2 \times 9.81\text{m}/\text{s}^2}} = 0.262 \text{ m.}$$

	Theory	Experiment	Difference (%)
Time for one complete cycle, T (s)	6.62	6.24	6.09
Maximum level, Y _{max} (m)	0.262	0.3	12.7

5. SAMPLE CALCULATIONS

Test runs were conducted by a team of engineers and technicians at ESSOM factory prior to shipment to customer. Typical test data were shown below.
From page 4-1

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left[1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right]}}$$

$$t_p = \text{Pipe wall thickness} = 2.9 \text{ mm} = 0.0029 \text{ m}$$

$$E = \text{Young's modulus or modulus of elasticity of the pipe}$$

$$d = \text{Pipe inside diameter} = 21 \text{ mm} = 0.021 \text{ m}$$

Water at 30°C give

$$E_v = \text{Bulk's modulus}$$

$$= 2.25 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho = \text{Density}$$

$$= 995.7 \text{ kN/m}^2$$

Stainless steel tube, give

$$E = \text{Modulus of elasticity}$$

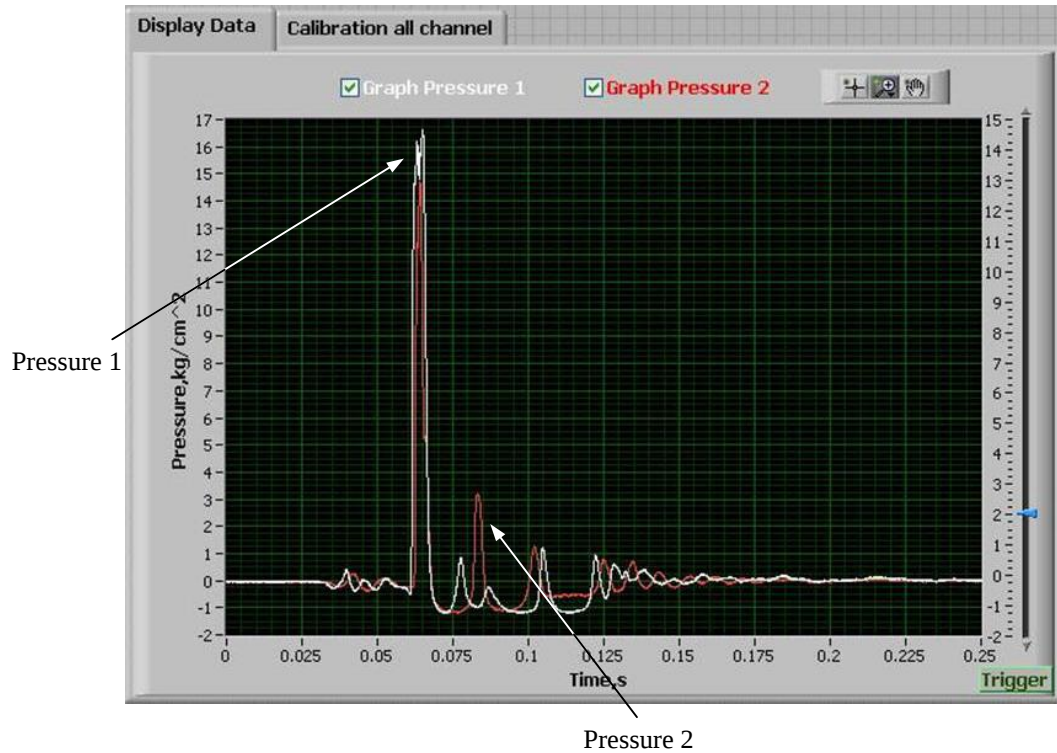
$$= 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

Substitute all variables in above equation give velocity of sound, c

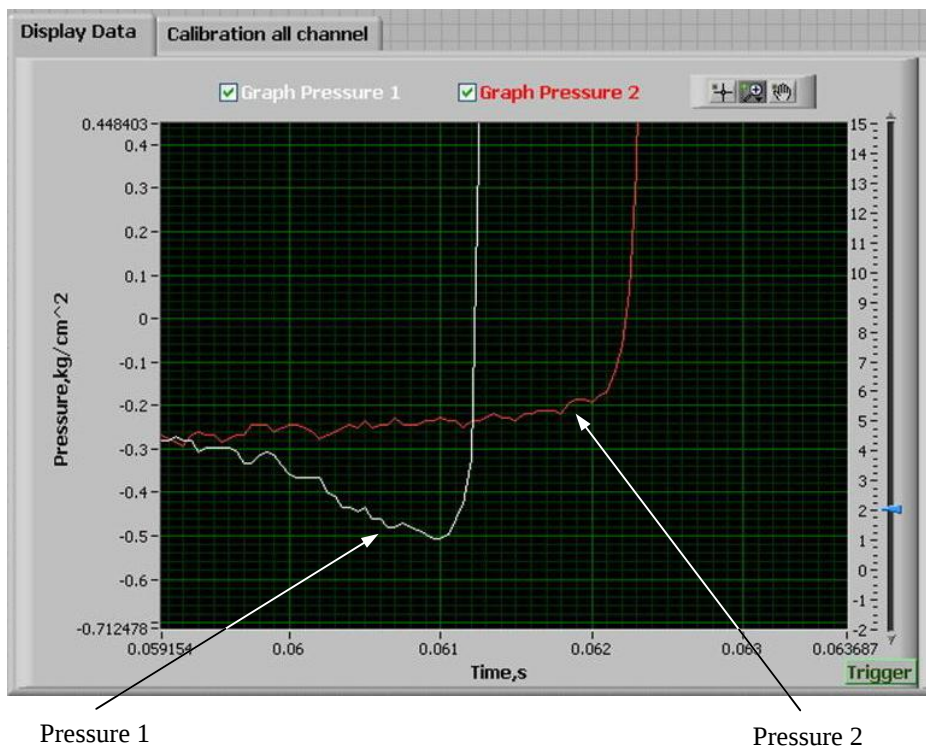
$$\begin{aligned} c &= \sqrt{\frac{2.25 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left[1 + \frac{2.25 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.021 \text{ m}}{0.0029 \text{ m} \times 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2} \right]}} \\ &= \sqrt{\frac{2.25 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} [1 + 0.084]}} \\ &= \sqrt{2,075,645.76 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\ &= 1,440.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

6. SAMPLE GRAPHS

Graphs of Pressure Vs Time (Normal Size)



(Graph with zoom)



Note: Δt between P_1 and P_2 must be measured from two markers lines or hard copy printed out.

ADDENDUM 1
PRESSURE TRANSDUCER

I trasmettitori di pressione di questa serie si distinguono per la grande affidabilità e stabilità a lungo termine delle caratteristiche meccaniche ed elettriche.

La parte sensibile a contatto con la pressione è interamente realizzata in acciaio inox 17-4 PH resistente alla corrosione.

I trattamenti termici ad alto vuoto, ai quali viene sottoposto l'acciaio, assicurano il perfetto funzionamento del sensore anche in presenza di sollecitazioni altamente dinamiche. L'esecuzione monolitica dell'elemento di misura, esente da qualsiasi assemblaggio a mezzo di anelli di tenuta o guarnizioni, assicura un'elevata stabilità con isteresi e deriva di zero trascurabili nel tempo.

Internamente le pressioni vengono rilevate tramite un ponte estensimetrico completo che garantisce il mantenimento delle prestazioni anche in presenza di picchi.

La sezione elettronica, realizzata con tecnologia SMD, è composta da un amplificatore strumentale di alta precisione e da un alimentatore stabilizzato con protezione dai cortocircuiti e dall'inversione di polarità.

Tutti i trasmettitori vengono interamente saldati al LASER e completamente incapsulati in resina per garantire insensibilità alle vibrazioni e un elevato grado di tenuta ermetica.

Durante il ciclo produttivo i trasmettitori sono compensati termicamente, collaudati e tarati individualmente tramite stazioni completamente automatiche che analizzano e archiviano tutti i parametri.

Queste caratteristiche rendono idoneo il loro impiego in vari settori industriali: pneumatico, idraulico, controllo di processi alimentari, impianti frigoriferi (depressione) e di livello. Utilizzati anche per banchi di prova, macchine prove materiali, laboratorio e ricerca.



RoHS
COMPLIANCE

$\leq \pm 0.20\%$

Linearità - Isteresi.

Linearity - Hysteresis



Per sollecitazioni altamente dinamiche.

For highly dynamic stresses.



Certificato SIT a richiesta.

SIT certificate on request.

**Elevata resistenza
Alta stabilità a lungo termine**

**High resistance
Long term high stability**

Pressure transmitters in these series distinguish themselves for high long-term reliability of mechanical and electrical features.

The sensitive part, in contact with pressure, is entirely made of 17-4 PH corrosion-proof stainless steel.

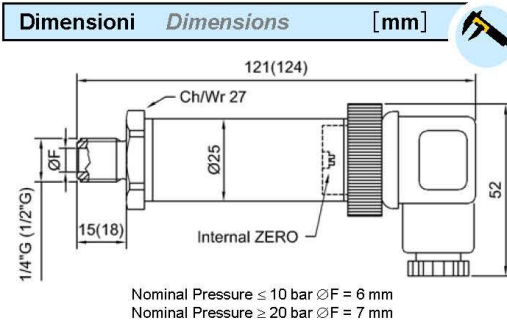
High vacuum thermal treatments which stainless steel is subjected to, ensure the correct functioning even when highly dynamic stresses are involved. Monolithic execution of measuring element, without any assembling via tight rings or gaskets, guarantees a high long-term stability, with negligible hysteresis and zero drift. Pressure is internally detected by a full bridge strain gauge, which assures the maintenance of performances even in presence of peaks.

Electronic section, realised via SMD technology, consists of a high precision instrumental amplifier and a stable supplier, protected against short circuits and polarity inversion.

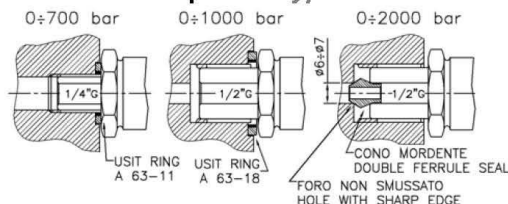
Every pressure transmitters is entirely LASER welded and completely resin-encapsulated, to ensure insensitivity and a high degree of hermetic tight.

During production cycle, pressure transducers are thermally compensated, tested and individually calibrated with the use of completely automated stations that analyse and record data.

These features make them suitable for being used in several industrial fields, as : pneumatic, hydraulic, food process control, level and refrigerating (depression) plants. They are also installed on test benches, materials testing machines, laboratories and research in general.



Installazione tipica Typical installation



Dati Tecnici		Technical Data
PRESSIONE RELATIVA (R)	RELATIVE PRESSURE (R)	0.5 ⁽¹⁾ - 1 ⁽⁶⁾ - 2.5 - 5 - 10 - 20 bar
PRESSIONE ASSOLUTA (A)	ABSOLUTE PRESSURE (A)	50 - 100 - 250 - 350 - 500 - 700 bar *1000 - *1500 - *2000 bar
LINEARITA' e ISTERESI	LINEARITY and HYSTERESIS	≤ ± 0.20 %
EFFETTO DELLA TEMPERATURA (1°C)	TEMPERATURE EFFECT (1°C)	
a) sullo zero	a) on zero	≤ ± 0.015%
b) sulla sensibilità	b) on sensitivity	≤ ± 0.015%
SENSIBILITA' NOMINALE	NOMINAL SENSITIVITY	4-20mA (2 or 3 wires) 0-5 V, 0-10 V
TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	CALIBRATION TOLERANCE	≤ ± 0.1%
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL POWER SUPPLY	4-20mA and 0-5V ➤ 12-24Vdc 0-10V ➤ 15-24Vdc
ALIMENTAZIONE MAX. ASSORBIMENTO MAX.:	MAX. POWER SUPPLY MAX. ABSORPTION	28Vdc
a) 3 fili	a) 3 wires	30mA
b) 2 fili	b) 2 wires	20mA
RESISTENZA DI CARICO:	LOADING RESISTANCE	
a) tensione	a) tension	min. 3kΩ
b) corrente	b) current	from 0 to 470Ω
RESISTENZA DI ISOLAMENTO	INSULATION RESISTANCE	>2 GΩ
BILANCIAMENTO DI ZERO	ZERO BALANCE	± 10% ADJ.
FREQUENZA DI RISPOSTA	RESPONSE FREQUENCY	from 0.5 to 5 kHz
VALORI MECCANICI LIMITE RIFERITI ALLA PRESSIONE NOMINALE :	LIMIT MECHANICAL VALUES REFERRED TO NOMINAL PRESSURE :	
a) pressione di servizio	a) service pressure	100%
b) pressione limite	b) max. permissible pressure	150%
c) pressione di rottura	c) breaking pressure	>300%
d) pressione altamente dinamica	d) highly dynamic pressure	75%
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	REFERENCE TEMPERATURE	+23°C
TEMPERATURA DI ESERCIZIO	WORKING TEMPERATURE	-10/+70°C
TEMPERATURA DI STOCCAGGIO	STORAGE TEMPERATURE	-20/+80°C
ATTACCO DI PROCESSO CHIAVE DI SERRAGGIO COPPIA DI SERRAGGIO CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529) MATERIALE PARTE SENSORE CONNESSIONE ELETTRICA	PROCESS COUPLING TIGHTENING WRENCH TIGHTENING TORQUE PROTECTION CLASS (EN 60529) SENSOR EXECUTION MATERIAL ELECTRICAL CONNECTION	1/4"Gas (*1/2"Gas) Maschio / BSP Male 27 mm 28 Nm IP65 INOX 17-4 PH Connector DIN 43650 - A/ISO 4400

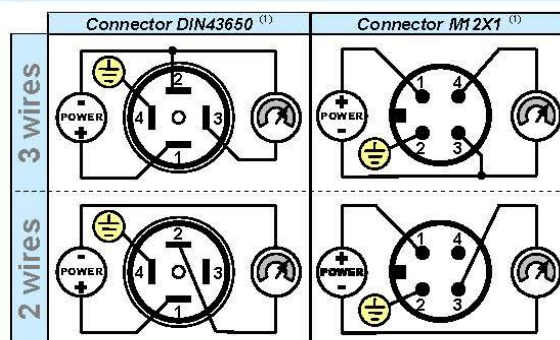
⁽¹⁾ Alimentazione nominale : 15-24 Vdc. / Nominal power supply : 15-24 Vdc.

OPZIONE:	OPTION:
CONNESSIONE ELETTRICA Connettore M12X1	ELECTRICAL CONNECTION Connector M12X1



Collegamenti elettrici

Electrical connections



⁽¹⁾ La regolazione dello ZERO è accessibile svitando la ghiera / ZERO adjustment is accessible by unscrewing the nut.

ADDENDUM 2
ANALOG TO DIGITAL SIGNAL CONVERTER

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

NI USB-6008, NI USB-6009

- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- 32-bit, 5 MHz counter
- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Operating Systems

- Windows Vista (32- and 64-bit)/XP/2000
- Mac OS X¹
- Linux^{†1}
- Windows Mobile¹
- Windows CE¹

Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio

Other Compatible Software

- C#, Visual Basic .NET
- ANSI C/C++

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver software
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- LabVIEW SignalExpress LE

¹You need to download NI-DAQmx Base for these operating systems.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single-ended; DI = differential. ²Software-timed.

Overview and Applications

With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications. The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost entry points to NI flagship data acquisition (DAQ) devices. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where low cost, small form factor, and simplicity are essential.

Examples include:

- Data logging – quick and easy environmental or voltage data logging
- Academic lab use – student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- OEM applications as I/O for embedded systems

Recommended Software

National Instruments measurement services software, built around NI-DAQmx driver software, includes intuitive application programming interfaces, configuration tools, I/O assistants, and other tools designed to reduce system setup, configuration, and development time. National Instruments recommends using the latest version of NI-DAQmx

driver software for application development in NI LabVIEW, LabVIEW SignalExpress, LabWindows/CVI, and Measurement Studio software. To obtain the latest version of NI-DAQmx, visit

ni.com/support/daq/versions.

NI measurement services software speeds up your development with features including:

- A guide to create fast and accurate measurements with no programming using the DAQ Assistant.
- Automatic code generation to create your application in LabVIEW.
- LabWindows/CVI, LabVIEW SignalExpress, and C#, Visual Studio .NET, ANSI C/C++, or Visual Basic using Measurement Studio.
- Multithreaded streaming technology for 1,000 times performance improvements.
- Automatic timing, triggering, and synchronization routing to make advanced applications easy.
- More than 3,000 free software downloads available at ni.com/zone to jump-start your project.
- Software configuration of all digital I/O features without hardware switches/jumpers.
- Single programming interface for analog input, analog output, digital I/O, and counters on hundreds of multifunction DAQ hardware devices. M Series devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW, LabWindows/CVI, or Measurement Studio versions 7.x; and LabVIEW SignalExpress 2.x.



Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Every M Series data acquisition device also includes a copy of LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. The NI-DAQmx Base driver software is provided for use with Linux, Mac OS X, Windows Mobile, and Windows CE operating systems.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-600x Connectivity Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-600x Prototyping Kit provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

NI USB DAQ for OEMs

Shorten your time to market by integrating world-class National Instruments OEM measurement products into your embedded system design. Board-only versions of NI USB DAQ devices are available for OEM applications, with competitive quantity pricing and available software customization. The NI OEM Elite Program offers free 30-day trial kits for qualified customers. Visit ni.com/oem for more information.

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost, hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008 ¹	779051-01
NI USB-6009 ¹	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit ^{1,2}	779320-22
NI USB-6009 Student Kit ^{1,2}	779321-22
NI USB-600x Connectivity Kit	779371-01
NI USB-600x Prototyping Kit	779511-01

¹ Includes NI-DAQmx software, LabVIEW SignalExpress LE, and a USB cable.

² Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S. only) or go to ni.com/usb.

BUY ONLINE at ni.com or **CALL 800 813 3693 (U.S.)**

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential
Type of ADC Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V
Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage..... ±10 V
Overvoltage protection ±35 V
FIFO buffer size 512 B
Timing resolution 41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy 100 ppm of actual sample rate
Input impedance 144 kΩ
Trigger source..... Software or external digital trigger
System noise..... 5 mV_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels..... 2
Type of DAC Successive approximation
DAC resolution 12 bits
Maximum update rate 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V
Output impedance..... 50 Ω
Output current drive..... 5 mA
Power-on state..... 0 V
Slew rate..... 1 V/μs
Short-circuit current..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels..... 12 total
8 (P0.<0..7>)
4 (P1.<0..3>)
Direction control Each channel individually programmable as input or output
Output driver type
USB-6008..... Open-drain
USB-6009..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
Compatibility..... CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor 4.7 kΩ to +5 V
Power-on state..... Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	—	V

Counter

Number of counters..... 1
Resolution 32 bits
Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency..... 5 MHz
Minimum high pulse width..... 100 ns
Minimum low pulse width..... 100 ns
Input high voltage 2.0 V
Input low voltage 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum) +5 V typical
+4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical
+2.5 V output accuracy 0.25% max
Voltage reference temperature drift... 50 ppm/°C max

¹Input voltages may not exceed the working voltage range.

BUY ONLINE at ni.com or CALL 800 813 3693 (U.S.)

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 μ A typical 500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)

中国客户: National Instruments 符合中国电子信息产品污染控制管理办法要求 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息, 请参见 ni.com/environment/rohs_china。 (For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

BUY ONLINE at ni.com or CALL 800 813 3693 (U.S.)

NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and

integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration.

Visit ni.com/alliance.



OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.



ni.com • (800) 813 3693

National Instruments • info@ni.com



©2008 National Instruments. All rights reserved. CUI, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, SCXI, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Linux is the registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

ADDENDUM 3
CERTIFICATE OF CALIBRATION



ESSOM COMPANY LIMITED
508 TAKSIN RD.,SOI 22/1,BUKKALO,THONBURI,BANGKOK 10600
Tel (662)476-0034,Fax (662)476-1500
www.essom.com

CALIBRATION CERTIFICATE PRESSURE READING

Code : HF 160 Name Water Hammer Apparatus Date : 04/12/2014
Work Order No. 2773 Serial No.: 15599

2. Instrument

2.1 Indicator Manufacturer - Model - Serial/ID Number -
2.2 Sensor Manufacturer AEP Model TP12BL53R Serial/ID Number 906115

Note : Program HF160 Reading

3. Reference Standard Instruments

3.1 Pressure Tester No. PG1

4. Calibration Room

Ambient Temperature : 24 °C ,Atmospheric Pressure : 1012 hPa , Humidity : 52 %RH

5. Result of Calibration

Standard Pressure (kg/cm ²)	Reading (kg/cm ²)	Deviation (kg/cm ²)	Percent Deviation (%)	Note
1.00	1.01	0.010	1.00	P1
2.00	1.99	0.010	0.50	
3.00	2.96	0.040	1.33	
4.00	4.00	0.000	0.00	
5.00	5.03	0.030	0.60	
6.00	6.02	0.020	0.33	
7.00	7.01	0.010	0.14	
8.00	7.97	0.030	0.38	
9.00	8.96	0.040	0.44	
10.00	10.06	0.060	0.60	

Calibrated by Date : 04/12/2014
Checked by Date : 04/12/2014
Approved by Date : 04/12/2014



ESSOM COMPANY LIMITED
508 TAKSIN RD., SOI 22/1, BUKKALO, THONBURI, BANGKOK 10600
Tel (662)476-0034, Fax (662)476-1500
www.essom.com

F 7601.3.1
Dec 14, 11

**CALIBRATION CERTIFICATE
PRESSURE READING**

Code : HF 160 Name Water Hammer Apparatus Date : 04/12/2014
Work Order No. 2773 Serial No.: 15599

2. Instrument

2.1 Indicator Manufacturer - Model - Serial/ID Number -
2.2 Sensor Manufacturer AEP Model TP12BL53R Serial/ID Number 906166

Note : Program HF160 Reading

3. Reference Standard Instruments

3.1 Pressure Tester No. PG1

4. Calibration Room

Ambient Temperature : 24 °C , Atmospheric Pressure : 1012 hPa , Humidity : 52 %RH

5. Result of Calibration

Standard Pressure (kg/cm ²)	Reading (kg/cm ²)	Deviation (kg/cm ²)	Percent Deviation (%)	Note
1.00	0.98	0.020	2.00	P2
2.00	2.02	0.020	1.00	
3.00	2.99	0.010	0.33	
4.00	3.97	0.030	0.75	
5.00	4.99	0.010	0.20	
6.00	5.97	0.030	0.50	
7.00	7.03	0.030	0.43	
8.00	8.02	0.020	0.25	
9.00	8.95	0.050	0.56	
10.00	10.06	0.060	0.60	

Calibrated by Date : 04/12/2014
Checked by Date : 04/12/2014
Approved by Date : 04/12/2014

คู่มือการใช้และการทดลอง
ชุดศึกษาลื่นกระแทกของน้ำ
HF 160 WATER HAMMER TEST SET



บริษัท เอสซอม จำกัด

508 ถนนสมเด็จพระเจ้าตากสิน

ซอย 22/1 บุคคโล ชนนบุรี กรุงเทพฯ 10600

โทร. +66 (0) 2470034 โทรสาร. +66 (0) 24761500

E-mail: essom@essom.com

www.essom.com



สารบัญ

	หน้า
การรับมอบสินค้า	A
หลักเกณฑ์ความปลอดภัย	B-D
1. รายละเอียดทั่วไป	1-1
2. ทฤษฎี	2-1
3. การทดลอง	3-1
4. ตัวอย่างผลการทดลอง	4-1
5. ตัวอย่างการคำนวณ	5-1
6. ตัวอย่างกราฟ	6-1

เอกสารแนบ

เอกสารแนบ 1 Pressure transducer

เอกสารแนบ 2 ตัว แปลงสัญญาณ Analog เป็น digital

เอกสารแนบ 3 ใบรับรองการสอบเทียบ

สงวนลิขสิทธิ์

ห้ามพิมพ์ซ้ำหรือผลิตเอกสารนี้ขึ้นใหม่ในทุกรูปแบบ (รวมทั้งการถ่ายรูป หรือ เก็บอยู่ในวัสดุหนึ่งวัสดุใด โดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ และ/หรือ ใช้สิ่งตีพิมพ์นี้เพียงครั้งคราวหรือโดยบังเอิญ) โดยมิได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจาก ESSOM COMPANY LIMITED

การรับมอบสินค้า

1. การรับมอบสินค้า

- (1) ในการรับมอบสินค้า ณ สถานที่ของลูกค้า ลูกค้าควรตรวจสอบสินค้าว่ามีการชำรุดเสียหายหรือมีการสูญหายในระหว่างการขนส่งหรือไม่
- (2) ถ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นกับสินค้าหรือมีสินค้าไม่ครบตามรายการที่ระบุไว้ในใบส่งสินค้า ผู้ขายจะส่งมอบให้ใหม่เฉพาะสินค้าที่ไม่ครบตามรายการหรือเปลี่ยนสินค้าให้ใหม่เฉพาะรายการที่ชำรุดเสียหายเท่านั้น

2. ความรับผิดชอบของผู้ผลิต

- (1) ก่อนที่จะทำการติดตั้งเริ่มนำเข้าใช้งานหรือใช้งานเครื่องทดลองตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน ด้วยความรับผิดชอบของผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย จึงขอเตือนให้ผู้ใช้งานคำนึงถึงตัวผู้ใช้งานเองและบุคคลอื่นที่อยู่ใกล้เคียงกับเครื่องทดลองของเราในแง่ของสุขอนามัยและความปลอดภัย
- (2) ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายจะไม่รับผิดชอบใดๆ ถ้าความเสียหายของอุปกรณ์ หรือทรัพย์สิน หรือการบาดเจ็บ ทั้งของผู้ใช้งานหรือบุคคลที่สาม นั้นเกิดจากการติดตั้งอย่างไม่ถูกต้อง การบำรุงรักษาและใช้งานผิดไปจากที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานที่จัดพิมพ์ขึ้นโดยผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย
- (3) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ความปลอดภัยที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน เพื่อป้องกันนักศึกษาและผู้ปฏิบัติการในการเดินเครื่องใช้งานอุปกรณ์

3. หลักเกณฑ์ความปลอดภัย

3.1 หลักความปลอดภัยทั่วไป

ก่อนที่จะดำเนินการติดตั้ง เริ่มนำเข้าใช้งาน และใช้งานเครื่องทดลองที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน เราขอเตือนท่านเกี่ยวกับอันตรายรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ ถ้าไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด

ผู้ใช้งานเครื่องทดลองอาจจะได้รับอันตรายได้จากการใช้งานอย่างไม่ถูกต้อง จากการช็อตด้วยไฟฟ้า จากอันตรายของเครื่องทดลองที่มีการหมุน และจากการขาดการรักษาความสะอาด

จากแนวคิดที่ว่า “อุบัติเหตุสามารถหลีกเลี่ยงได้” จะต้องแน่ใจว่าเครื่องทดลองถูกติดตั้งอย่างถูกต้อง มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และผู้ใช้งานทราบเป็นอย่างดีว่าอุปกรณ์นั้นมีอันตรายอะไรบ้าง

3.2 การตระหนักถึงกฎความปลอดภัย

- 1) ก่อนปฏิบัติการกับอุปกรณ์ทดลอง ผู้ดำเนินการติดตั้ง นำเข้าใช้งาน หรือทำการทดลอง จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถเหมาะสมและทราบคำแนะนำและข้อกำหนดที่ระบุไว้ในคู่มือของผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเป็นอย่างดีแล้ว
- 2) จะต้องแน่ใจว่าคำแนะนำทั้งหลายที่ระบุอยู่ในคู่มือได้รับการปฏิบัติตามอย่างจริงจัง

4. ความปลอดภัยเกี่ยวกับไฟฟ้า

- 1) ผู้ที่จะปฏิบัติงานกับเครื่องทดลองจะต้องเป็นวิศวกรไฟฟ้าหรือช่างไฟฟ้าที่มีความสามารถเหมาะสมซึ่งเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ทดลองและสามารถตัดสินใจในแง่ของความปลอดภัยได้อย่างถูกต้อง
- 2) ถ้าไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าเครื่องทดลองได้มาจากการเดินสายไฟฟ้าอย่างชั่วคราว จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัย เช่น Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) เป็นต้น
- 3) สายไฟฟ้าที่ใช้จะต้องมีขนาดที่ถูกต้องเหมาะสมกับเครื่องทดลองระบบไฟฟ้าจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยซึ่งจะตัดกระแสไฟฟ้าออกในกรณีที่ได้รับภาระเกินพิกัด (Overload) โดยเครื่องทดลองไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด (Overload relay)

5. การติดตั้ง

- ก) ในระหว่างการรับมอบสินค้าจะต้องระมัดระวังอย่างยิ่งที่จะไม่ทำให้อุปกรณ์ต่างเกิดการชำรุดเสียหายจากการเคลื่อนย้ายและการเปิดหีบห่อบรรจุ ถ้ามีการใช้วัสดุสิ่งในการเคลื่อนย้าย จะต้องแน่ใจว่าวัสดุสิ่งผูกอยู่กับโครงสร้างหรือส่วนที่แข็งแรงของเครื่องทดลอง ในกรณีที่ใช้เครื่องจักรในการของ เช่นรถฟอร์กลิฟท์ จะต้องแน่ใจว่าขาของฟอร์กลิฟท์สอดอยู่ใต้ส่วนที่เป็นฐานแท่นเครื่องของเครื่องทดลองโดยไม่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องทดลองเกิดความเสียหายในขณะที่ยกเครื่องทดลอง
- ข) ในบางกรณีจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเครื่องทดลองบนแท่นเครื่องที่แข็งแรงและได้ระดับ

5.1 สายไฟฟ้า

1) รหัสสีของสายไฟฟ้าตามปกติของเครื่องทดลอง คือ

สีดำ	Line
สีเทาหรือสีขาว	Neutral
สีเขียว-เหลือง	Ground

2) สายไฟฟ้าแบบสามเฟสมีห้าเส้น คือ

สีแดง สีนํ้าเงิน และสีดำ	Line
สีเทาอ่อนหรือสีขาว	Neutral
สีเขียว	Ground

5.2 ข้อควรระวังทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้นํ้ารวมทั้งหอคอยหล่อเย็นแบบระเหย

- 1) ควรเปลี่ยนถ่ายนํ้าที่ใช้ในระบบอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากนํ้าจะเสียถ้าปล่อยให้อยู่นิ่งในระบบเป็นเวลานาน
- 2) ควรล้างระบบเป็นระยะอย่างสม่ำเสมอด้วยการอัดด้วยนํ้าสะอาดที่มีความดัน
- 3) สิ่งที่เจือปนอยู่ในนํ้าอาจทำให้เกิดตะกอนและตะไคร่ได้ จึงควรทำความสะอาดตามกำหนดอย่างสม่ำเสมอ
- 4) เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิของนํ้าไม่ควรสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส
- 5) ควรลดหรือป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแปลกปลอมในนํ้าที่ใช้ด้วยผู้ที่เชี่ยวชาญด้านนี้

5.3 อุปกรณ์ที่มีการหมุน

ถ้าเครื่องทดลองมีชิ้นส่วนที่เกิดการหมุน เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พัดลม ฯลฯ ซึ่งตามปกติแล้วอุปกรณ์เหล่านี้จะมีแผงกํบัง (Protection shield หรือ guard) เพื่อป้องกันผู้ใช้งานจากอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น แผงกํบังนี้ต้องอยู่ในที่ของมันอย่างถูกต้องในขณะที่ใช้งานเครื่องทดลอง (ที่มีการหมุน) และจะถอดออกเฉพาะในกรณีที่ทำ การบำรุงรักษาเท่านั้น

หลังจากเสร็จสิ้นการบำรุงรักษาแล้ว จะต้องใส่แผงกํบังกลับคืนสู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง ห้ามใช้งานอุปกรณ์ทดลองโดยไม่มีแผงกํบัง

5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ไอนํ้า

- 1) สำหรับการใช้งานเครื่องทดลองที่ใช้ไอนํ้า มีข้อควรระวังที่สำคัญหลายประการที่ผู้ใช้งานและช่างซ่อมบำรุงรักษาต้องจดจำ ทั้งในแง่การเดินเครื่องใช้งานและการวางแผนบำรุงรักษา ในระหว่างการเดินเครื่องใช้งานเครื่องทดลอง ไอนํ้าและนํ้ามีอุณหภูมิและความดันสูงซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อนักศึกษาได้ ถ้าไม่ปฏิบัติตามข้อควรระวังทางด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด
- 2) อย่าเดินเครื่องใช้งานอุปกรณ์ทดลองเกินกว่าค่าอุณหภูมิและความดันวิกฤติที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้งาน
- 3) ควรตรวจสอบและปรับเทียบลิ้นนิรภัย (Safety valve) เป็นระยะตามที่กำหนดไว้ในคู่มือ และมีการจดบันทึกไว้อย่างต่อเนื่อง สำหรับลิ้นลดความดัน (Pressure reducing valve) ก็ควรปฏิบัติเช่นเดียวกันด้วย ลิ้นนิรภัย (Safety valve) อาจจะทำงานทันทีทันใดโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า ดังนั้นจึงควรต่อท่อระบายออกไปสู่พื้นที่ที่ปลอดภัย

- 4) ควรสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น มาตรวัดความดัน เทอร์โมมิเตอร์ และ Sensors ตามกำหนดระยะเวลาตามปกติอย่างต่อเนื่อง
- 5) ควรตรวจสอบอุปกรณ์ทดลองโดยการสังเกตด้วยสายตาเป็นระยะ เพื่อหาการรั่วของไอน้ำ ฯลฯ และตรวจสอบโครงสร้างหรือรอยต่อต่างๆ ด้วย ว่ายังแน่นอยู่หรือไม่
- 6) ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เช่น ชุดทนความร้อนและถุงมือ เมื่อทำการบำรุงรักษาเครื่องทดลอง

5.5 อุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง

- 1) มีข้อควรระวังที่สำคัญหลายประการในการเดินเครื่องใช้งานและการบำรุงรักษาสำหรับผู้ใช้งานและช่างซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทดลองที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะที่เครื่องทดลองทำงาน อากาศ ก๊าซ หรือน้ำ จะมีอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อนักศึกษาได้ ถ้าไม่ปฏิบัติตามข้อควรระวังทางด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด
- 2) อย่าเดินเครื่องใช้งานอุปกรณ์ทดลองเกินกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤติที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้งาน
- 3) ควรสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ และ Sensors ตามกำหนดระยะเวลาตามปกติอย่างต่อเนื่อง

6. หลักความปลอดภัยในการบำรุงรักษา

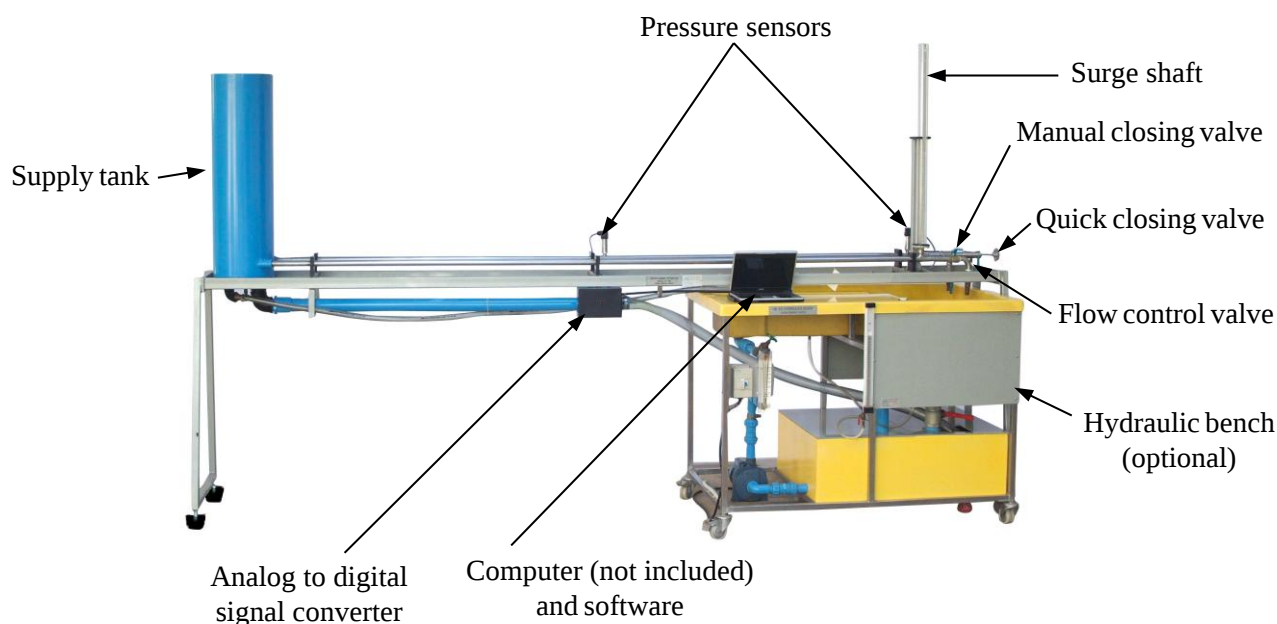
- 1) ในขณะที่ทำการบำรุงรักษาจะต้องปลดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทดลองออกก่อนเสมอ
- 2) แขนงป้ายเตือนที่ระบุว่าอุปกรณ์อยู่ระหว่างการบำรุงรักษาไว้ที่ตู้จ่ายไฟ เพื่อป้องกันบุคคลอื่นเข้ามายุ่งเกี่ยว
- 3) ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน คือ ELBC ว่ามันทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดของมัน เพื่อเป็นการประกันความปลอดภัยของบุคคลที่กำลังทำงานอยู่กับอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์ที่การทำงานผิดพลาดจะต้องได้รับการแก้ไขโดยช่างไฟฟ้าผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะนำเครื่องทดลองนั้นกลับเข้าใช้งาน
- 4) ตรวจสอบให้แน่ใจได้ว่างานเสร็จสิ้น โดยเครื่องทดลองกลับคืนสู่สภาพเดิมทุกประการโดยไม่มีแผงกั้นหรือฝาครอบ เปิดค้างอยู่หรือไม่แน่นพอ และจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมใดๆ หรือเครื่องมือช่าง เช่น ไขควงหรือประแจ เหลือทิ้งไว้อยู่ในเครื่องทดลอง
- 5) ถ้ามีการใช้น้ำกับเครื่องทดลองนั้น จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการป้องกันผลเสียที่จะเกิดจากจุลชีพต่างๆ ด้วย

7. สถานะความปลอดภัยทั่วไปเมื่อเดินเครื่องใช้งานหรือบำรุงรักษาเครื่องทดลอง

- 1) ในระหว่างการเดินเครื่องใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องทดลอง ความปลอดภัยและสุขอนามัย ของนักศึกษาสามารถป้องกันได้หลายวิธี เช่นการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เป็นต้น
- 2) อย่าสวมใส่เสื้อผ้าที่หลวมหรือรุ่มร่ามในห้องทดลอง เสื้อผ้าเช่นนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงได้ ถ้ามันเข้าไปพันกับชิ้นส่วนของเครื่องทดลองที่มีการหมุน
- 3) จะต้องสวมถุงมือเมื่อเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีพิษ หรือสัมผัสกับส่วนที่มีอุณหภูมิสูง
- 4) จะต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันหู เมื่อเครื่องทดลองนั้นมีเสียงดังในขณะที่เดินเครื่องใช้งาน
- 5) จะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตา ถ้าการทำงานนั้นอาจจะเกิดอันตรายกับดวงตาได้

คู่มือการใช้และการทดลอง
ชุดศึกษาค้นกระแทกของน้ำ

HF 160 WATER HAMMER TEST SET



รูปที่ 1-1 HF 160 WATER HAMMER TEST SET

1. รายละเอียดทั่วไป

ชุดทดสอบนี้เป็นเครื่องมือสาธิตผลกระทบจากการเกิดคลื่นกระแทกในท่อ (Pipe Surge) และฆ้อนน้ำ (Water Hammer) โดยใช้ท่อตรงที่แยกออกจากกันจำนวน 2 ท่อพร้อมกับถังน้ำที่สามารถควบคุมระดับน้ำภายในถังให้คงที่ได้

คลื่นกระแทกในท่อจะเห็นได้จากท่ออะคลิติกใสเมื่อความเร็วของน้ำภายในท่อค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปและความดันค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในขณะที่ปิดวาล์วอย่างช้า ๆ ส่วนการเกิดฆ้อนน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อมีการปิดวาล์วอย่างฉับพลัน สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน 2 ตัวที่ติดอยู่ข้างวาล์วและที่ท่อตรงจุดที่ห่างออกมา ความดันในท่อที่เพิ่มขึ้นจากการปิดวาล์วอย่างฉับพลันนี้ นอกจากนี้นขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสามารถแสดงผลผ่านหัววัดความดันและแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ เครื่องมือชุดนี้จะใช้คู่กับโต๊ะทดลองที่มีถังวัดปริมาตรน้ำ, ปั๊มน้ำและถังเก็บน้ำ ใช้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายน้ำและวัดอัตราการไหล ซึ่งว่าจะได้ความเร็ว

1.1 ข้อมูลทางเทคนิค

1.1.1 ความสูงของระดับน้ำคงที่ : 900 มม.

1.1.2 ท่อส่งน้ำ

1.1.2.1 ท่อทดสอบคลื่นกระแทกในท่อ : ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 21 มม. ยาว 3 เมตร และท่ออะคลิติกใสทรงกระบอก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. สูง 900 มม. โดยมี
บอลวาล์วสำหรับ ปิด-เปิด และวาล์วสำหรับควบคุม
อัตราการไหลของน้ำในท่อ

1.1.2.2 ท่อทดสอบการเกิดหมอนน้ำ : ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
21 มม. ยาว 3 เมตร พร้อมทั้งวาล์วที่สามารถ ปิด-
เปิดได้อย่างฉับพลัน

1.1.3 หัววัดความดัน : 2 ตัว ติดตั้งไว้ห่างจากกัน 1.5 ม.บนท่อทดสอบการเกิดหมอนน้ำ ความถี่การ
ตอบสนอง 5 kHz ความคงค่าในเชิงเส้นและค่าฮิสเทรีซิส $\pm 2\%$

1.1.4 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ พร้อมด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงผลของคลื่นความดันทางคอมพิวเตอร์
(จัดหาแยกต่างหากไม่รวมในชุดทดลอง) ประกอบด้วย

- อะนาล็อกอินพุต : 8 single-ended, 4 differential
- ความละเอียดของอินพุต : 14 bits single ended
- อัตราเร็วสูงสุดในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ : Single channel, 48 kS/s
- คุณลักษณะเฉพาะของ USB : USB 2.0 full-speed
- ความเร็วของ USB bus : 12 Mb/s

1.1.5 แหล่งจ่ายไฟ : 220 V 1Ph 50 Hz. หรือแหล่งจ่ายไฟอื่นที่เหมาะสมตามต้องการ

1.2 แบบอย่างการทดลอง

1.2.1 เพื่อศึกษาและสาธิตการเกิด Pipe Surge หรือ คลื่นกระแทกในท่อทดสอบและลักษณะการ
กระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงาน (Surge Shaft)

1.2.2 เพื่อหาและสาธิตเฮดของพลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานระหว่างถังเก็บน้ำและถังสลาย
พลังงาน

1.2.3 รูปแบบความดันสำหรับคลื่นน้ำและเปรียบเทียบกับค่าของทฤษฎี

1.2.4 หาค่าความเร็วของคลื่นเสียงที่ผ่านของเหลวภายในท่อ

1.3 อุปกรณ์เพื่อเลือก

1.3.1 HP 010 หัววัดและจอแสดงผลอัตราการไหล

1.3.2 โต๊ะชดสาศตร์

1.3.2.1 ถังวัดปริมาตรน้ำ : ไฟเบอร์กลาสถังล่างมีความจุ 10 ลิตร และ ถังบนมี
ความจุ 45 ลิตร

1.3.2.2 ถังเก็บน้ำ : ไฟเบอร์กลาส 160 ลิตร

1.3.2.3 ปัมมน้ำ : 0.37 กิโลวัตต์

2. ทฤษฎี

2.1 บทนำ

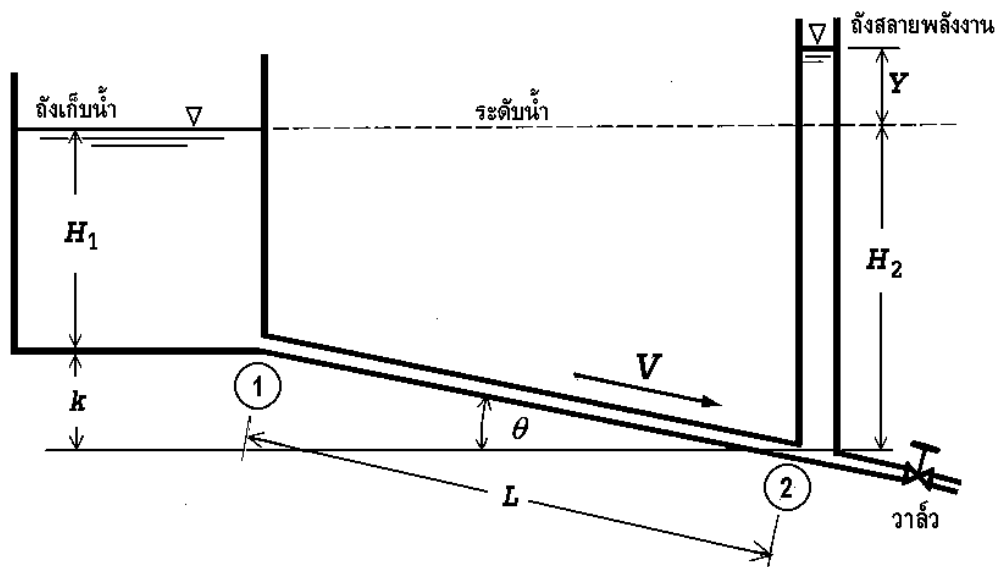
น้ำที่ไหลในท่อนั้นมีพลังงานจลน์ ดังนั้นเมื่อลัดวงจรการไหลโดยการปิดวาล์วทางด้านปลายท่อแล้ว ก็จะต้องทำการสลายหรือทำลายพลังงานจลน์จำนวนนี้ให้หมดไปจากระบบท่อ ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับระบบท่อ ถ้าหากเป็นท่อที่มีขนาดยาวมากๆ เช่น ท่อส่งน้ำของโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว การลัดวงจรการไหลภายในท่อส่งน้ำอย่างฉับพลันก็อาจจะทำให้ความดันภายในท่อเพิ่มสูงขึ้นจนเพียงพอที่จะทำให้ท่อส่งน้ำนั้นแตกได้ การปิดวาล์วของท่อส่งน้ำขนาดเล็กในระบบท่ออย่างฉับพลันก็เช่นเดียวกัน จะทำให้เกิดคลื่นความดันที่มีค่าสูงกว่าความดันปกติของท่อได้หลายเท่า คลื่นความดันนี้จะเดินทางกลับไปตามท่อด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของเสียง แรงจากคลื่นความดันนี้จะกระทำกับวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในเส้นทางการเคลื่อนที่ เช่น ผนังของท่อ วาล์ว ฯลฯ ดังนั้นจึงมีเสียงดังและการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มีชื่อเรียกว่า “ฆ็อนน้ำ” (Water Hammer)

การสลายพลังงานในระบบท่อที่เกิดจากการลัดวงจรการไหลนั้น สามารถทำได้โดยการติดตั้งถัง (ท่อ) น้ำรูปทรงกระบอก (Surge Shaft) ไว้ที่ปลายท่อ เพื่อให้ทำหน้าที่รับแรงกระแทกจากจากคลื่นความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อ

ชุดทดลองนี้จะประกอบด้วยระบบท่อ 2 ชุด ชุดแรกจะใช้สำหรับสาธิตการสลายพลังงานภายในท่อ โดยใช้ถังอะคลิลิกใสทรงกระบอก ส่วนท่อชุดที่สองจะใช้สำหรับตรวจสอบคลื่นที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงเมื่อปิดวาล์วอย่างฉับพลัน ที่เรียกว่าปรากฏการณ์ ฆ็อนน้ำ (Water Hammer)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นกระแทกในท่อ (Pipe Surge)

ในกรณีที่ไม่คิดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในระบบท่อ



รูปที่ 2-1 ภาพประกอบที่ใช้ศึกษาการเกิดคลื่นกระแทกในท่อ

ความหมายของตัวย่อและสัญลักษณ์:

A	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อ
A _T	=	พื้นที่หน้าตัดของถังสลายพลังงาน
V	=	ความเร็วของน้ำภายในท่อ
Y	=	ความสูงของน้ำในถังสลายพลังงาน (เหนือระดับน้ำในถังเก็บน้ำ)
$\frac{dY}{dt}$	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (ความเร็วของน้ำ) ภายในถังสลายพลังงาน
t	=	ช่วงเวลา ที่นับหลังจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อ
q	=	อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านวาล์ว
h _L	=	เฮดของน้ำที่สูญเสียไปกับความเสียดทานที่เกิดจากการไหลภายในท่อ
θ	=	มุมเอียงของท่อ

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตันซึ่งมีรูปสมการว่า:

$$\Sigma F = m.a$$

$$\left[\begin{array}{c} \text{แรงจากผลต่าง} \\ \text{ของความดัน} \\ \text{ภายในท่อ} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{แรงดึงดูดของ} \\ \text{โลกในทิศทาง} \\ \text{การไหล} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{แรงจากความ} \\ \text{เสียดทานภายในท่อ} \end{array} \right] = \text{มวล} \times \text{ความเร่ง}$$

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 + W \sin \theta - \gamma A h_L = m \left(\frac{dV}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ในที่นี้:

$$\begin{aligned} p_1 &= \rho g H_1 \\ p_2 &= \rho g (H_2 + Y) \\ m &= \rho A L \\ W &= m g = \rho A L g \end{aligned}$$

จากรูป : 2-1

$$k = L \cdot \sin \theta$$

$$H_2 = H_1 + k$$

เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (1) แล้วก็จะได้:

$$\rho g A H_1 - \rho g A (H_2 + Y) + (\rho A L) g \sin \theta - \rho g A h_L = (\rho A L) \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

$$\rho g A H_1 - \rho g A [(H_1 + k) + Y] + \rho g A k - \rho g A h_L = (\rho A L) \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

$$\rho g A H_1 - \rho g A H_1 - \rho g A k - \rho g A Y + \rho g A k - \rho g A h_L = \rho A L \left(\frac{dV}{dt} \right)$$

เมื่อเอา $\rho g A$ หารตลอดแล้วก็จะได้;

$$\frac{L}{g} \frac{dV}{dt} + Y + h_L = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการการไหลต่อเนื่อง (continuity equation) :

อัตราการไหลในท่อ = อัตราการไหลที่ไหลผ่านวาล์ว + อัตราการไหลที่เข้าสู่ถังสลายพลังงาน

$$AV = q + A_T \left(\frac{dY}{dt} \right)$$

$$\text{หรือ} \quad V = \frac{q}{A} + \frac{A_T}{A} \left(\frac{dY}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อแทนค่า V จาก (3) ใน (2) แล้วก็จะได้ :

$$\frac{L}{g} \frac{d}{dt} \left[\frac{A_T}{A} \frac{dY}{dt} + \frac{q}{A} \right] + Y + h_L = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ในกรณีที่ปิดวาล์วไม่ให้น้ำไหลผ่าน ก็จะทำให้มีค่า $q = 0$ และจะไม่มีเฮดที่สูญเสียไปในท่อ นั่นก็คือ $h_L = 0$ ดังนั้นสมการ (4) ก็จะเหลือเพียง :

$$\frac{A_T}{A} \frac{L}{g} \left[\frac{d^2 Y}{dt^2} \right] + Y = 0$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{d^2 Y}{dt^2} + \frac{A_T g}{A_T L} Y = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อให้ : $\sqrt{\frac{A_T g}{A_T L}} = \Omega$ แล้ว สมการ (5) ก็จะเปลี่ยนรูปเป็น :

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \Omega^2 Y = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำ (การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ) ในถังสลายพลังงานนั้นเป็นการเคลื่อนที่แบบ simple harmonic motion ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นแล้วลง ก็จะมีค่าเป็น :

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{1}{\Omega^2}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{1}{A_T g / A_T L}} = 2\pi \sqrt{\frac{A_T L}{A_T g}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ความสูงของคลื่น หรือระดับน้ำ Y ในถังสลายพลังงาน หาได้จากความเร็ว u ของน้ำในถังคูณด้วยเวลา Ω ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ นั่นคือ :

$$Y = \frac{u}{\Omega} \quad \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ $u = \frac{dY}{dt}$ = ความเร็วโคจร (orbital velocity) สำหรับ Simple harmonic motion ในถังสลายพลังงาน

ระดับน้ำในถังสลายพลังงานจะเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุดเมื่อปิดวาล์วทางด้านปลายท่อ หรือเมื่อ $q = 0$ ดังนั้นเมื่อแทนค่าอัตราการไหลที่ไหลผ่านวาล์วเมื่อปิดวาล์วนี้ลงไปในสมการ (3) แล้ว จะได้ความเร็วของน้ำในท่อเมื่อปิดวาล์ว เป็น:

$$V_{q=0} = \frac{A_T}{A} \times \frac{dY}{dt} = \frac{A_T}{A} \cdot u \quad \dots\dots\dots(9)$$

แทนค่าความเร็ว u จากสมการ (9) นี้ลงในสมการ (8) ก็จะได้เป็น

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= \frac{A}{A_T} V_{q=0} \times \frac{1}{\Omega} \\ &= \frac{A}{A_T} V_{q=0} \times \sqrt{\frac{A_T L}{A g}} \\ &= V_{q=0} \sqrt{\frac{L A}{g A_T}} \quad \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

เมื่อ $Y_{\max}$ = ความสูงคลื่นสูงสุดในถังสลายพลังงาน

เนื่องจากสมการที่สร้างขึ้นมานี้ไม่ได้นำแรงเสียดทานเข้าไปใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นถ้าหากคิดแรงเสียดทานด้วยแล้ว ก็จะสามารถหาความสูงโดยประมาณของคลื่นที่เกิดจากการปิดวาล์วอย่างฉับพลันได้ดังนี้ :

$$\text{ความสูงคลื่นสูงสุดในถังสลายพลังงาน} = Y - 0.6h_L$$

หรือเท่ากับ

$$\text{ความสูงคลื่นสูงสุดในถังสลายพลังงาน} = Y \left(1 - \frac{h_L}{3Y} \right)^2$$

2.3 ทฤษฎีของการเกิดฆ็อนน้ำ (Water Hammer)

น้ำที่ไหลในท่อนั้นจะมีพลังงานจลน์อยู่ด้วย แต่เมื่อทำการปิดวาล์วอย่างฉับพลันก็จะทำให้น้ำภายในท่อหยุดการไหล และพลังงานจลน์ของน้ำจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานจากความเครียดที่เพิ่มขึ้น และสามารถหาความดันที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์นั้นสามารถที่จะคำนวณหาได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน :

$$\text{พลังงานจลน์ที่สูญเสียไป} = \text{พลังงานจากความเครียดที่เพิ่มขึ้น}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} A L \\ \frac{1}{2} (\rho A L) V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} A L \\ \frac{1}{2} \left(\rho \frac{1}{4} \pi d^2 L \right) V^2 &= \frac{1}{2} \frac{p^2}{E_v} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 L \end{aligned}$$

เมื่อ : E_v = Bulk's Modulus หรือ Volume Modulus of Elasticity

$$\therefore p = V \sqrt{E_v \rho} \dots\dots\dots(11)$$

จากเรื่องคลื่น พบว่า คลื่นเสียงที่เดินทางในท่อจะมีความเร็วตามสมการ

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \dots\dots\dots(12)$$

เมื่อแทนค่า E_v จากสมการ (12) ในสมการ (11) แล้วก็จะได้ :

$$p = V \sqrt{(c^2 \rho) \rho} \dots\dots\dots(13) \\ = \rho V c$$

ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกถ่ายทอดจากวาล์วปิดเปิดไปตามท่อด้วยความเร็วเท่ากับความเร็ว c ของเสียงจนกระทั่งเดินทางถึงถึงเก็บน้ำจากนั้นก็สะท้อนกลับมายังวาล์วอีก การสะท้อนกลับมายังวาล์วนี้ จะเกิดคลื่นความดันต่ำขึ้นและคลื่นความดันต่ำนี้ก็จะสะท้อนกลับไปยังถึงน้ำและสะท้อนกลับมายังวาล์วอีก โดยจะสะท้อนครั้งแล้วครั้งเล่าเกิดเป็นวงรอบขึ้น

หากมีหัววัดคลื่นความดัน 2 ตัว วางอยู่ห่างกัน หัววัดทั้ง 2 นี้จะรับคลื่นความดันที่เวลาแตกต่างกันเล็กน้อย เวลาที่แตกต่างกันนี้จะเท่ากับเวลาซึ่งจะมีค่าเป็นที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นในระหว่างหัววัดที่ 1 ถึงหัววัดที่ 2 เวลาดังกล่าวนี้เรียกว่า Delay time หรือ Lag time

$$t = \frac{L}{c}$$

เมื่อ : t = lag time

L = ระยะห่าง (distance) ระหว่าง transducer

c = ความเร็วของเสียง (sound velocity)

ดังนั้นจะสามารถนำ delay time หรือ lag time ที่วัดได้ไปใช้คำนวณหาความเร็วของเสียงในน้ำของระบบท่อ ซึ่งควรที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่หาได้จากทฤษฎี ซึ่งมีค่าเป็น :

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left(1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right)}}$$

เมื่อ : t_p = ความหนาของผนังท่อ

E = Young's Modulus หรือ Modulus of Elasticity ของท่อ, N/m^2

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

ρ = ความหนาแน่น, kg/m^3

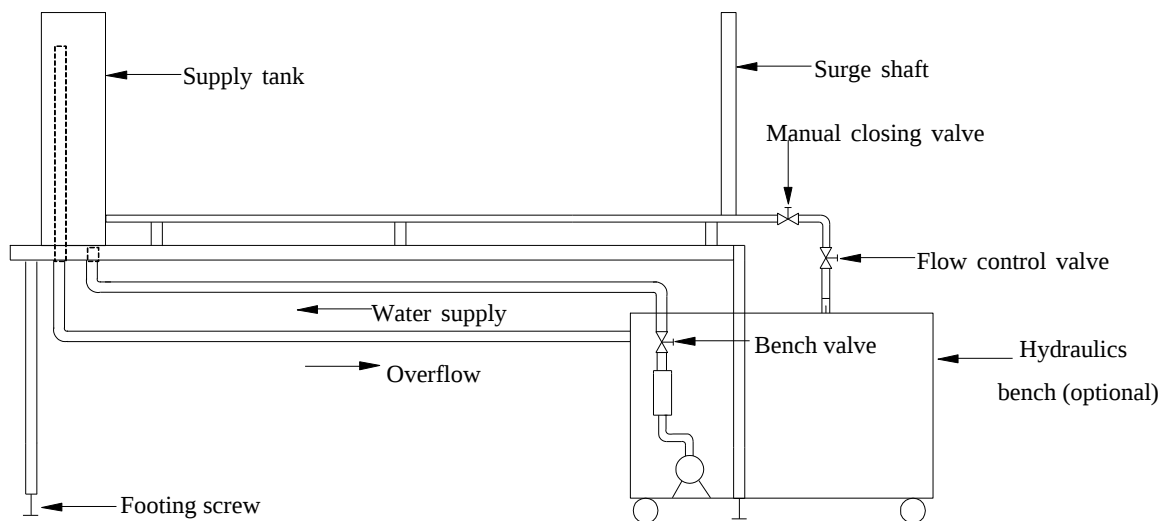
3. การทดลอง

3.1 การทดลองเรื่อง คลื่นกระแทกในท่อ (Pipe Surge)

3.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

- เพื่อศึกษาการเกิด Pipe Surge หรือ คลื่นกระแทกในท่อ
- เพื่อศึกษาถึงลักษณะการสั่นของน้ำในถังสลายพลังงาน (Surge Shaft)
- เพื่อหาการสูญเสียของเสื่อน้ำระหว่างถังเก็บน้ำและถังสลายพลังงาน

3.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่3-1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเรื่องคลื่นกระแทกในท่อ

3.1.3 บทสรุปของทฤษฎี

- เสดอน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างถังเก็บน้ำกับถังสลายพลังงาน หาได้จาก

$$h_L = h_s - \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ : h_s = ความสูงของระดับน้ำในถังสลายพลังงานเมื่อไม่มีการไหลในท่อ (Static head)

$$\frac{V^2}{2g} = \text{เสดอน้ำความเร็วของน้ำในถังสลายพลังงานเมื่อมีการไหลในท่อ (Velocity head)}$$

- ช่วงเวลาการกระเพื่อมของน้ำ (คลื่น) ในถังสลายพลังงาน $T = 2\pi \sqrt{\frac{L A_T}{g A}}$

- ความสูงของน้ำ(คลื่น)ที่กระเพื่อมขึ้นลงในถังสลายพลังงาน $Y_{\max} = \frac{A}{A_T} V_q = 0 \sqrt{\frac{L A_T}{g A}}$

3.1.4 วิธีทดลอง :

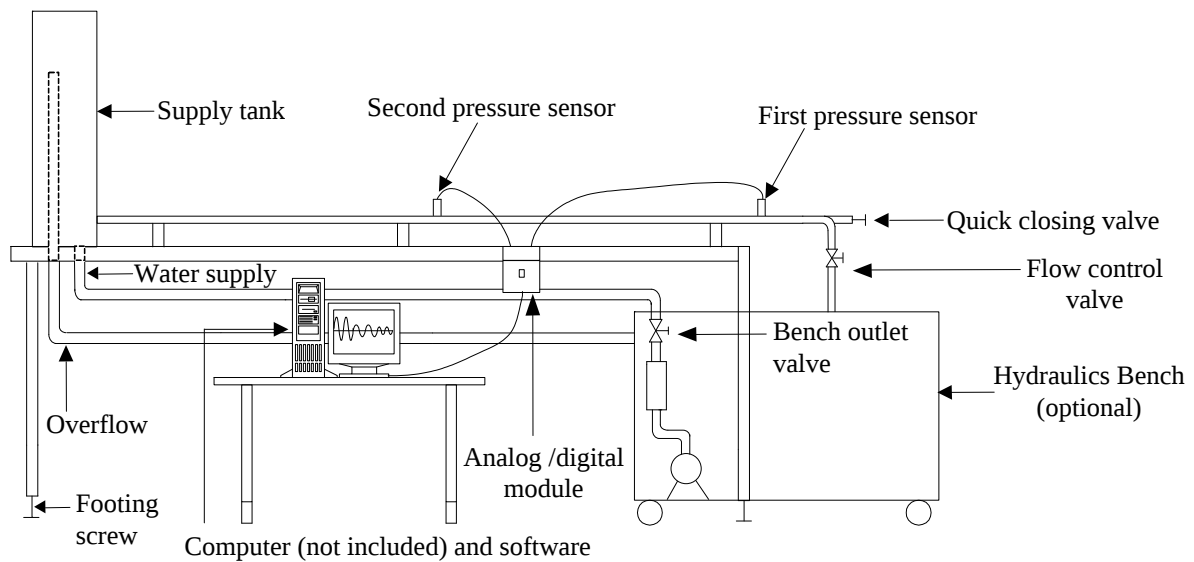
- 3.1.4.1. วางชุดทดลองพร้อมอุปกรณ์โตะชลศาสตร์ตามในรูป และปรับระดับขาตั้งให้สมดุล (Pipe Surge ตั้งตรง)
- 3.1.4.2. เติมน้ำเข้าถังเก็บของโตะชลศาสตร์จนเกือบเต็ม ต่อสายส่งน้ำจากโตะชลศาสตร์ไปยังถังจ่ายน้ำของชุดทดลอง ต่อท่อน้ำล้นจากถังจ่ายน้ำกลับเข้าถังเก็บน้ำของโตะชลศาสตร์
- 3.1.4.3. ปิดวาล์วควบคุมการไหลของท่อน้ำที่ใช้สำหรับการทดลองหมอนน้ำ (Water Hammer) และ ปิดวาล์วควบคุมของท่อและของเครื่องทดลองคลื่นในถัง
- 3.1.4.4. เปิดสวิตช์ให้ปั๊มของโตะชลศาสตร์
- 3.1.4.5. ปิดวาล์วของโตะชลศาสตร์ให้น้ำไหลเข้าถังจ่ายน้ำจนกระทั่งมีน้ำล้น
- 3.1.4.6. บันทึกค่าความสูงของระดับน้ำในถังสลายพลังงาน
- 3.1.4.7. ปิดวาล์วควบคุมการไหลตามต้องการ ปรับการไหลของน้ำจากโตะชลศาสตร์เข้าถังจ่าย ให้มีน้ำล้นจากถังจ่ายเล็กน้อย
- 3.1.4.8. รอจนกระทั่งน้ำ (คลื่น) ในถังสลายพลังงานหยุดกระเพื่อม แล้วให้บันทึกค่าใหม่ของระดับน้ำในถังสลายพลังงาน
- 3.1.4.9. วัดอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้ถังวัดปริมาตรแล้วจับเวลา ของโตะชลศาสตร์
- 3.1.4.10. ปิดวาล์วท่อด้วยมือ และบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำในถังสลายพลังงานพร้อมทั้งจับเวลาตั้งแต่เริ่มปิดวาล์วจนกระทั่งน้ำในถังสลายพลังงานกระเพื่อมขึ้นสู่ระดับสูงสุด
- 3.1.4.11. บันทึกเวลานับตั้งแต่เริ่มปิดวาล์วจนกระทั่งครบวงจรแรกของการกระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงาน
- 3.1.4.12. เมื่อการกระเพื่อมของน้ำหยุดแล้ว ให้บันทึกค่าความสูงของระดับน้ำในถังสลายพลังงานอีกครั้งหนึ่ง (ควรเท่ากับข้อ 3.1.4.6.)
- 3.1.4.13. ทำการทดลองซ้ำอีก3ครั้งเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย

3.2 การทดลองเรื่อง การเกิดฆ้อนน้ำ Water Hammer

3.2.1 วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาและสาธิตลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ฆ้อนน้ำ

3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

การประกอบอุปกรณ์ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 Water hammer equipment set up

3.2.3 บทสรุปทฤษฎี

- ความเร็วเสียงในท่อ

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left(1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right)}}$$

- ความดัน

$$p = \rho V c$$

- ช่วงเวลาของการเกิดคลื่นระลอกแรก

$$T = \frac{2L}{c}$$

3.2.4 วิธีการทดลอง

3.2.4.1 ติดตั้งอุปกรณ์บนโต๊ะชลศาสตร์และปรับระดับขาตั้งให้สมดุล

3.2.4.2 เติมน้ำเข้าถังจ่ายน้ำของโต๊ะชลศาสตร์จนเกือบเต็ม ต่อสายส่งน้ำจากโต๊ะชลศาสตร์ไปยังถังจ่ายน้ำของชุดทดลอง ต่อท่อน้ำสั้นจากถังจ่ายน้ำ กลับเข้าถังเก็บน้ำของโต๊ะชลศาสตร์

3.2.4.3 ปิดวาล์วควบคุมสำหรับการทดลอง เรื่อง Pipe Surge และปิดวาล์วควบคุมน้ำที่ไหลเข้าอุปกรณ์ทดลองจากโต๊ะชลศาสตร์และปิดวาล์วควบคุมการไหลในชุดทดสอบการเกิด water hammer

3.2.4.4 เปิดสปริงวาล์วที่ทำงานอย่างฉับพลัน โดยการกดวาล์วเข้าและบิดสลับ

- 3.2.4.5 เปิดสวิตช์ปั๊มของโต๊ะชลศาสตร์ และเปิดวาล์วควบคุมน้ำจากโต๊ะชลศาสตร์ช้าๆ ให้น้ำไหลเข้าถังจ่ายน้ำทำการไหล 30 ลิตรต่อนาที
- 3.2.4.6 เปิดวาล์วควบคุมการไหลในชุดทดสอบการเกิน water hammer
- 3.2.4.7 เสียบปลั๊กไฟของกล่องแหล่งจ่ายไฟของเซนเซอร์โดยที่ไม่เปิดเครื่องและไม่ต่อสายกับเครื่องแปลงสัญญาณ
- 3.2.4.8 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เปิดกล่องจ่ายไฟของเซนเซอร์ และเปิดโปรแกรม water hammer
- 3.2.4.9 เริ่มโปรแกรมโดยกดไปที่เครื่องหมาย  และตั้งค่ารับคลื่นไปที่ 2-4 กก./ตร.ซม.
- 3.2.4.10 รอไฟที่ “start” ขึ้นแล้วปล่อยสปริงวาล์วโดยบิดปุ่มเพื่อปลดล็อก

3.2.5 การคำนวณและบันทึกผล

ถ้าใช้เครื่อง Oscilloscope ในการทดลอง การอ่านค่าจะต้องแปลงจากไฟฟ้าเป็นความดัน

$$P = N_v \times A \times C$$

เมื่อ : $P =$ ความดัน, bar

$N_v =$ ค่าที่อ่านได้จากสเกล ตามแนวตั้งของ oscilloscope , จำนวนช่อง

$$A = \frac{\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า mV}}{\text{จำนวนช่อง , ช่อง}}$$

$$C = \text{ค่าคงที่ (constant)} = \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV.}} \text{ หรือ (ค่าสอบเทียบจากความดันมาตรฐาน)}$$

ตัวอย่าง ถ้าอ่านค่าต่างๆ ได้ดังนี้ :

$$N_v = 4 \text{ ช่อง}$$

$$A = \frac{2 \text{ mV}}{\text{ช่อง}}$$

$$C = \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV}}$$

แล้ว

$$P = N_v \times A \times C$$

$$= 4 \text{ ช่อง} \times \frac{2 \text{ mV}}{\text{ช่อง}} \times \frac{1.378 \text{ bar}}{\text{mV}} = 11.024 \text{ bar}$$

ในการทำงานเดียวกันก็ต้องเปลี่ยนค่าที่อ่านได้จากสเกลตามแนวนอนของ Oscilloscope แสดงช่วงเวลา และหาความสัมพันธ์ขอเวลาในระหว่าง 2 คลื่นความดัน)

$$\Delta t = N_h \times T$$

เมื่อ $\Delta t =$ ช่วงเวลาระหว่างคลื่นความดัน, ms

$N_h =$ ค่าที่อ่านได้จากสเกลตามแนวนอนของ Oscilloscope, จำนวนช่อง

$T =$ = สเกลเวลา, $\frac{\text{ms}}{\text{ช่อง}}$ ค่าที่ตั้งจาก Oscilloscope

ตัวอย่าง ถ้าอ่านค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$N_h = 1.1 \text{ ช่อง}$$

$$T = \frac{1 \text{ ms.}}{\text{ช่อง}}$$

ในกรณีนี้จะได้ช่วงเวลาระหว่างคลื่นความดันเป็น:

$$\begin{aligned} \Delta t &= N_h \times T \\ &= 1.1 \text{ ช่อง} \times \frac{1 \text{ ms}}{\text{ช่อง}} \\ &= 1.1 \text{ ms.} \end{aligned}$$

กรณีใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถอ่านค่าเวลา (ms) สามารถเลือกอ่านได้โดยตรงจากจอคอมพิวเตอร์ ส่วนค่า สเกลความดันต้องสอบเทียบจากอุปกรณ์วัดความดันมาตรฐาน ซึ่งสอบเทียบมาแล้ว ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ ESSOM ค่านี้สอบเทียบมาแล้วจากโรงงาน ให้อ่านเป็น กก/ซม² เมื่ออ่านค่า ΔT จะต้องอ่านค่าที่จุดเริ่มต้นของคลื่นความดัน

ใบบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

ชุดศึกษาการกระแทกของน้ำ

HF 160 WATER HAMMER TEST SET

ชื่อผู้ทำการทดลอง.....วันที่.....

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (21 มม.) =m
 พื้นที่หน้าตัดของท่อ, (A) = m²
 พื้นที่หน้าตัดของถังสลายพลังงาน (A_T) = m²
 ปริมาตรของน้ำในถังวัดปริมาตรของโตะชลศาสตร์ (Vol.) = m³
 ช่วงเวลาที่รองรับน้ำในถังวัดปริมาตร (t) =s
 อัตราการไหลของน้ำในท่อ (Q) = Vol/t = m³/s
 ความเร็วน้ำในท่อ, (V) = Q/A = m/s
 Static Head (h_s) = m

ระดับน้ำสูงสุดในถังหลังจากปิดวาล์ว, ทดลองหลายครั้ง

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Level (h _{max})									

ช่วงเวลาการกระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงานครบ 1 รอบ (T_{actual}) =s
 ระดับน้ำสูงสุดในถังสลายพลังงานจากระดับอ้างอิง Y_{max} = h_{max} - h_s = m
 ค่าจากทฤษฎี $T = 2\pi \sqrt{\frac{LA_T}{gA}}$ =s
 $Y_{max} = \frac{A}{A_T} V_{q=0} \sqrt{\frac{A_T L}{gA}}$ = m

	ค่าทฤษฎี	ค่าทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ต่าง (%)
ช่วงเวลาการกระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงานครบ 1 รอบ T (sec)			
ระดับน้ำสูงสุดในถังสลายพลังงาน, Y _{max} (m)			

4. ตัวอย่างผลการทดลอง

ใบบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

ชุดศึกษาการกระแทกของน้ำ

HF 160 WATER HAMMER TEST SET

ชื่อผู้ทำการทดลอง...พรสิทธิ์ เกริกไกรศรี...วันที่...7 ต.ค. 45...

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (21 มม.) $= 0.021 \text{ m}$

พื้นที่หน้าตัดของท่อ, $A = \frac{\pi}{4}(0.021 \text{ m})^2 = 0.000346 \text{ m}^2$

พื้นที่หน้าตัดของถังสลายพลังงาน $A_T = \frac{\pi}{4}(0.04 \text{ m})^2 = 0.001257 \text{ m}^2$

ปริมาตรของน้ำในถังวัดปริมาตรของโตะชลศาสตร์ (Vol.) $= 0.008 \text{ m}^3$

ช่วงเวลาที่รองรับน้ำในถังวัดปริมาตร (t) $= 25.68 \text{ s}$

อัตราการไหลของน้ำในท่อ (Q) $= \text{Vol.}/t = \frac{0.008 \text{ m}^3}{25.68 \text{ s}} = 0.000312 \text{ m}^3/\text{s}$

ความเร็วน้ำในท่อ, (V) $= Q/A = \frac{0.000312 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000346 \text{ m}^2} = 0.9017 \text{ m/s}$

Static Head (h_s) $= 0.614 \text{ m}$

ระดับน้ำสูงสุดในถังหลังจากปิดวาล์ว, ทดลองหลายครั้ง

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Level ($h_{\max}$)	0.914								

ช่วงเวลาการกระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงาน ครบ 1 รอบ (T_{actual}) $= 6.24 \text{ s}$

ระดับน้ำสูงสุดในถังสลายพลังงานจากระดับอ้างอิง $Y_{\max} = h_{\max} - h_s = 0.914 - 0.614 = 0.3 \text{ m}$

ค่าจากทฤษฎี $T = 2\pi \sqrt{\frac{L A_T}{g A}} = 2\pi \sqrt{\frac{3\text{m} \times 0.001257\text{m}^2}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.000346\text{m}^2}} = 6.6226 \text{ s}$

$Y_{\max} = V_q = 0 \sqrt{\frac{A L}{A_T g}} = 0.9017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{0.000346\text{m}^2 \times 3\text{m}}{0.001257\text{m}^2 \times 9.81\text{m/s}^2}} = 0.262 \text{ m}$

	ค่าทฤษฎี	ค่าทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ต่าง (%)
ช่วงเวลาการกระเพื่อมของน้ำในถังสลายพลังงานครบ 1 รอบ, T (sec)	6.62	6.24	6.09
ระดับน้ำสูงสุดในถังสลายพลังงาน, $Y_{\max}$ (m)	0.262	0.3	12.7

5. ตัวอย่างการคำนวณ

จากหน้า 4-1

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left[1 + \frac{E_v d}{t_p E} \right]}}$$

$$t_p = \text{ความหนาของผนังท่อ} = 2.9 \text{ mm} = 0.0029 \text{ m}$$

$$E = \text{Young's modulus หรือ modulus of elasticity ของท่อ}$$

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ} = 21 \text{ mm} = 0.021 \text{ m}$$

น้ำที่อุณหภูมิ 30°C ให้คุณสมบัติ

$$\begin{aligned} E_v &= \text{Bulk's modulus} \\ &= 2.25 \times 10^6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{ความหนาแน่น} \\ &= 995.7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมให้คุณสมบัติ

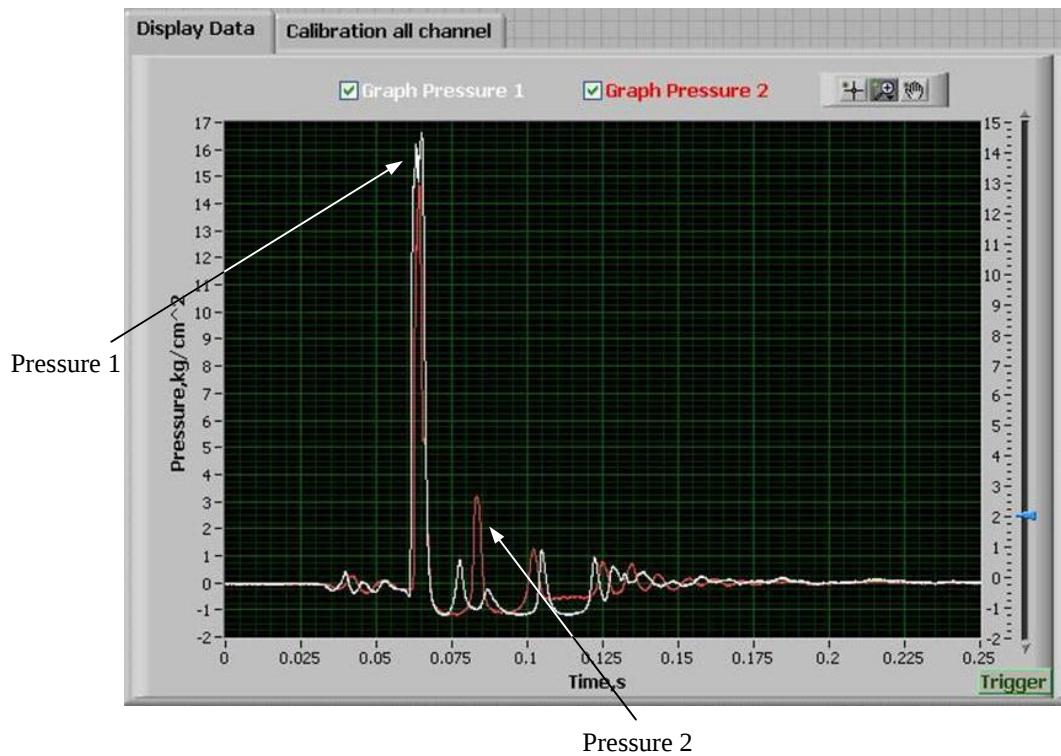
$$\begin{aligned} E &= \text{Modulus of elasticity} \\ &= 193 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงไปในการคำนวณนี้จะได้ค่า ความเร็วเสียง, c ดังนี้

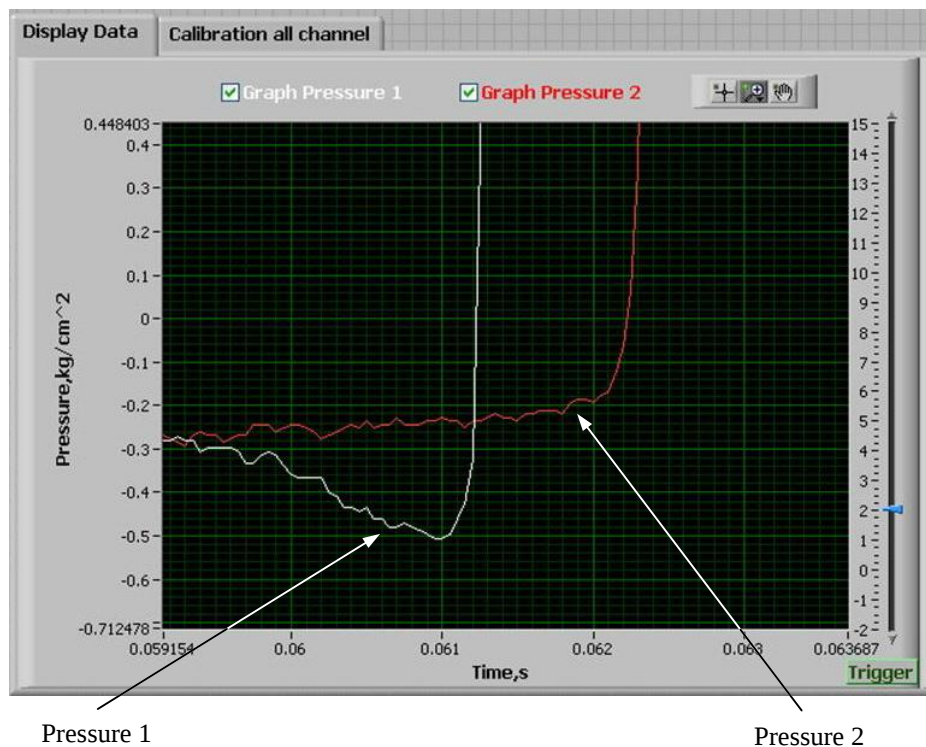
$$\begin{aligned} c &= \sqrt{\frac{2.25 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left[1 + \frac{2.25 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \times 0.021 \text{ m}}{0.0029 \text{ m} \times 193 \times 10^9 (\text{N/m}^2)} \right]}} \\ &= \sqrt{\frac{2.25 \times 10^9 \text{ N/m}^2}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} [1 + 0.084]}} \\ &= \sqrt{2,075,645.76 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\ &= 1,440.71 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

6. ตัวอย่างกราฟ

กราฟความดันกับเวลา (Normal Size)



(ภาพขยายของกราฟ)



Note: Δt ระหว่าง P_1 และ P_2 ต้องวัดจากการทำสัญลักษณ์ของสองเส้นหรือกระดาษที่ปรึ้นออกมา

เอกสารแนบ 1

PRESSURE TRANSDUCER

Dati Tecnici		Technical Data
PRESSIONE RELATIVA (R)	RELATIVE PRESSURE (R)	0.5 ⁽¹⁾ - 1 ⁽¹⁾ - 2.5 - 5 - 10 - 20 bar
PRESSIONE ASSOLUTA (A)	ABSOLUTE PRESSURE (A)	50 - 100 - 250 - 350 - 500 - 700 bar *1000 - *1500 - *2000 bar
LINEARITA' e ISTERESI	LINEARITY and HYSTERESIS	≤ ± 0.20 %
EFFETTO DELLA TEMPERATURA (1°C)	TEMPERATURE EFFECT (1°C)	
a) sullo zero	a) on zero	≤ ± 0.015%
b) sulla sensibilità	b) on sensitivity	≤ ± 0.015%
SENSIBILITA' NOMINALE	NOMINAL SENSITIVITY	4-20mA (2 or 3 wires) 0-5 V, 0-10 V
TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	CALIBRATION TOLERANCE	≤ ± 0.1%
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL POWER SUPPLY	4-20mA and 0-5V ➤ 12-24Vdc 0-10V ➤ 15-24Vdc
ALIMENTAZIONE MAX. ASSORBIMENTO MAX.:	MAX. POWER SUPPLY MAX. ABSORPTION	28Vdc
a) 3 fili	a) 3 wires	30mA
b) 2 fili	b) 2 wires	20mA
RESISTENZA DI CARICO:	LOADING RESISTANCE	
a) tensione	a) tension	min. 3KΩ
b) corrente	b) current	from 0 to 470Ω
RESISTENZA DI ISOLAMENTO	INSULATION RESISTANCE	>2 GΩ
BILANCIAMENTO DI ZERO	ZERO BALANCE	± 10% ADJ.
FREQUENZA DI RISPOSTA	RESPONSE FREQUENCY	from 0.5 to 5 kHz
VALORI MECCANICI LIMITE RIFERITI ALLA PRESSIONE NOMINALE :	LIMIT MECHANICAL VALUES REFERRED TO NOMINAL PRESSURE :	
a) pressione di servizio	a) service pressure	100%
b) pressione limite	b) max. permissible pressure	150%
c) pressione di rottura	c) breaking pressure	>300%
d) pressione altamente dinamica	d) highly dynamic pressure	75%
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	REFERENCE TEMPERATURE	+23°C
TEMPERATURA DI ESERCIZIO	WORKING TEMPERATURE	-10/+70°C
TEMPERATURA DI STOCCAGGIO	STORAGE TEMPERATURE	-20/+80°C
ATTACCO DI PROCESSO CHIAVE DI SERRAGGIO COPPIA DI SERRAGGIO CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529) MATERIALE PARTE SENSORE CONNESSIONE ELETTRICA	PROCESS COUPLING TIGHTENING WRENCH TIGHTENING TORQUE PROTECTION CLASS (EN 60529) SENSOR EXECUTION MATERIAL ELECTRICAL CONNECTION	1/4"Gas (*1/2"Gas) Maschio / BSP Male 27 mm 28 Nm IP65 INOX 17.4 PH Connector DIN 43650 - A/ISO 4400

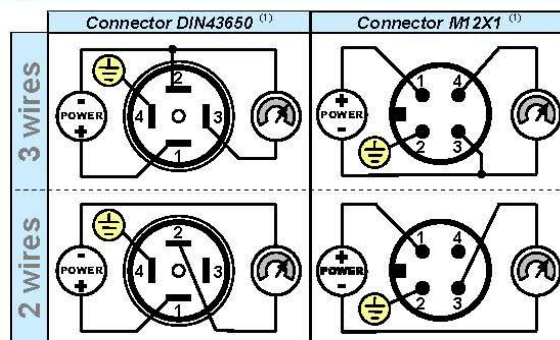
⁽¹⁾ Alimentazione nominale : 15-24 Vdc. / Nominal power supply : 15-24 Vdc.

OPZIONE:	OPTION:
CONNESSIONE ELETTRICA Connettore M12X1	ELECTRICAL CONNECTION Connector M12X1



Collegamenti elettrici

Electrical connections



⁽¹⁾ La regolazione dello ZERO è accessibile svitando la ghiera / ZERO adjustment is accessible by unscrewing the nut.

AEP

transducers

Das-Register
EN ISO 9001 (2000)
IQ-1100-01

Centro SIT n° 93

ATEX
Production Quality
Assurance Certified n°
TUV 06 ATEX 553793 Q

41010 Cognento (MODENA) Italy Via Bottego 33/A Tel: +39-(0)59-346441 Fax: +39-(0)59-346437 E-mail: aep@aep.it

Al fine di migliorare le prestazioni tecniche del prodotto, la società si riserva di apportare variazioni senza preavviso.
In order to improve the technical performances of the product, the company reserves the right to make any dynamometer without notice.

เอกสารแนบ 2

เครื่องแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

NI USB-6008, NI USB-6009

- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- 32-bit, 5 MHz counter
- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Operating Systems

- Windows Vista (32- and 64-bit)/XP/2000
- Mac OS X¹
- Linux[®]†
- Windows Mobile[†]
- Windows CE[†]

Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio

Other Compatible Software

- C#, Visual Basic .NET
- ANSI C/C++

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver software
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- LabVIEW SignalExpress LE

[†]You need to download NI-DAQmx Base for these operating systems.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single-ended, DI = differential. ²Software-timed.

Overview and Applications

With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications. The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost entry points to NI flagship data acquisition (DAQ) devices. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where low cost, small form factor, and simplicity are essential. Examples include:

- Data logging – quick and easy environmental or voltage data logging
- Academic lab use – student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- OEM applications as I/O for embedded systems

Recommended Software

National Instruments measurement services software, built around NI-DAQmx driver software, includes intuitive application programming interfaces, configuration tools, I/O assistants, and other tools designed to reduce system setup, configuration, and development time. National Instruments recommends using the latest version of NI-DAQmx

driver software for application development in NI LabVIEW, LabVIEW SignalExpress, LabWindows/CVI, and Measurement Studio software. To obtain the latest version of NI-DAQmx, visit

ni.com/support/daq/versions.

NI measurement services software speeds up your development with features including:

- A guide to create fast and accurate measurements with no programming using the DAQ Assistant.
- Automatic code generation to create your application in LabVIEW.
- LabWindows/CVI, LabVIEW SignalExpress, and C#, Visual Studio .NET, ANSI C/C++, or Visual Basic using Measurement Studio.
- Multithreaded streaming technology for 1,000 times performance improvements.
- Automatic timing, triggering, and synchronization routing to make advanced applications easy.
- More than 3,000 free software downloads available at ni.com/zone to jump-start your project.
- Software configuration of all digital I/O features without hardware switches/jumpers.
- Single programming interface for analog input, analog output, digital I/O, and counters on hundreds of multifunction DAQ hardware devices. NI Series devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW, LabWindows/CVI, or Measurement Studio versions 7.x; and LabVIEW SignalExpress 2.x.



Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Every M Series data acquisition device also includes a copy of LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. The NI-DAQmx Base driver software is provided for use with Linux, Mac OS X, Windows Mobile, and Windows CE operating systems.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-600x Connectivity Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-600x Prototyping Kit provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

NI USB DAQ for OEMs

Shorten your time to market by integrating world-class National Instruments OEM measurement products into your embedded system design. Board-only versions of NI USB DAQ devices are available for OEM applications, with competitive quantity pricing and available software customization. The NI OEM Elite Program offers free 30-day trial kits for qualified customers. Visit ni.com/oem for more information.

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost, hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008 ¹	779051-01
NI USB-6009 ¹	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit ^{1,2}	779320-22
NI USB-6009 Student Kit ^{1,2}	779321-22
NI USB-600x Connectivity Kit	779371-01
NI USB-600x Prototyping Kit	779511-01

¹ Includes NI-DAQmx software, LabVIEW SignalExpress LE, and a USB cable.

² Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S. only) or go to ni.com/usb.

BUY ONLINE at ni.com or **CALL 800 813 3693 (U.S.)**

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential

Type of ADC..... Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended.....	±10 V
Input range, differential.....	±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage.....	±10 V
Overvoltage protection.....	±35 V
FIFO buffer size.....	512 B
Timing resolution.....	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy.....	100 ppm of actual sample rate
Input impedance.....	144 kΩ
Trigger source.....	Software or external digital trigger
System noise.....	5 mV _{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load).....	7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels.....	2
Type of DAC.....	Successive approximation
DAC resolution.....	12 bits
Maximum update rate.....	150 Hz, software-timed

Output range.....	0 to +5 V
Output impedance.....	50 Ω
Output current drive.....	5 mA
Power-on state.....	0 V
Slew rate.....	1 V/μs
Short-circuit current.....	50 mA

Digital I/O

Number of channels.....	12 total 8 (P0.<0..7>) 4 (P1.<0..3>)
Direction control.....	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	
USB-6008.....	Open-drain
USB-6009.....	Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
Compatibility.....	CMOS, TTL, LVTTTL
Internal pull-up resistor.....	4.7 kΩ to +5 V
Power-on state.....	Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range.....	-0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	—	V

Counter

Number of counters.....	1
Resolution.....	32 bits
Counter measurements.....	Edge counting (falling edge)
Pull-up resistor.....	4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency.....	5 MHz
Minimum high pulse width.....	100 ns
Minimum low pulse width.....	100 ns
Input high voltage.....	2.0 V
Input low voltage.....	0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum).....	+5 V typical +4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum).....	+2.5 V typical
+2.5 V output accuracy.....	0.25% max
Voltage reference temperature drift...	50 ppm/°C max

¹Input voltages may not exceed the working voltage range.

BUY ONLINE at ni.com or CALL 800 813 3693 (U.S.)

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 μ A typical 500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)

中国客户: National Instruments 符合中国电子信息产品污染控制管理办法要求 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息, 请参见 ni.com/environment/rohs_china。 (For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

BUY ONLINE at ni.com or CALL 800 813 3693 (U.S.)

NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services.

Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and

integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration.

Visit ni.com/alliance.



OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services

NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.



ni.com • (800) 813 3693

National Instruments • info@ni.com



©2008 National Instruments. All rights reserved. CVI, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, SCXI, and SignalExpress are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Linux is the registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

เอกสารแนบ 3
ใบรับรองการสอบเทียบ



ESSOM COMPANY LIMITED
508 TAKSIN RD.,SOI 22/1,BUKKALO,THONBURI,BANGKOK 10600
Tel (662)476-0034,Fax (662)476-1500
www.essom.com

F 7601.3.1
Dec 14,11

CALIBRATION CERTIFICATE PRESSURE READING

Code : HF 160 Name Water Hammer Apparatus Date : 04/12/2014
Work Order No. 2773 Serial No.: 15599

2. Instrument

2.1 Indicator Manufacturer - Model - Serial/ID Number -
2.2 Sensor Manufacturer AEP Mode TP12BL53R Serial/ID Number 906115

Note : Program HF160 Reading

3. Reference Standard Instruments

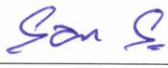
3.1 Pressure Tester No. PG1

4. Calibration Room

Ambient Temperature : 24 °C ,Atmospheric Pressure : 1012 hPa , Humidity : 52 %RH

5. Result of Calibration

Standard Pressure (kg/cm ²)	Reading (kg/cm ²)	Deviation (kg/cm ²)	Percent Deviation (%)	Note
1.00	1.01	0.010	1.00	P1
2.00	1.99	0.010	0.50	
3.00	2.96	0.040	1.33	
4.00	4.00	0.000	0.00	
5.00	5.03	0.030	0.60	
6.00	6.02	0.020	0.33	
7.00	7.01	0.010	0.14	
8.00	7.97	0.030	0.38	
9.00	8.96	0.040	0.44	
10.00	10.06	0.060	0.60	

Calibrated by  Date : 04/12/2014
Checked by  Date : 04/12/2014
Approved by  Date : 04/12/2014



ESSOM COMPANY LIMITED
508 TAKSIN RD.,SOI 22/1,BUKKALO,THONBURI,BANGKOK 10600
Tel (662)476-0034,Fax (662)476-1500
www.essom.com

**CALIBRATION CERTIFICATE
PRESSURE READING**

Code : HF 160 Name Water Hammer Apparatus
Work Order No. 2773

Date : 04/12/2014
Serial No.: 15599

2. Instrument

2.1 Indicator Manufacturer - Model - Serial/ID Number -
2.2 Sensor Manufacturer AEP Model TP12BL53R Serial/ID Number 906166

Note : Program HF160 Reading

3. Reference Standard Instruments

3.1 Pressure Tester No.PG1

4. Calibration Room

Ambient Temperature : 24 °C ,Atmospheric Pressure : 1012 hPa , Humidity : 52 %RH

5. Result of Calibration

Standard Pressure (kg/cm ²)	Reading (kg/cm ²)	Deviation (kg/cm ²)	Percent Deviation (%)	Note
1.00	0.98	0.020	2.00	P2
2.00	2.02	0.020	1.00	
3.00	2.99	0.010	0.33	
4.00	3.97	0.030	0.75	
5.00	4.99	0.010	0.20	
6.00	5.97	0.030	0.50	
7.00	7.03	0.030	0.43	
8.00	8.02	0.020	0.25	
9.00	8.95	0.050	0.56	
10.00	10.06	0.060	0.60	

Calibrated by

Date : 04/12/2014

Checked by

Date : 04/12/2014

Approved by

Date : 04/12/2014