

# VACUUM INSULATION MONITOR VIM-1



Beim VIM-1 Vacuum Insulation Monitor handelt es sich um ein Reibungsmanometer, bei dem eine rotierende Stahlkugel als Sensor verwendet wird. Dieses Messprinzip hat sich seit Jahrzehnten bewährt und ist weltweit wegen seiner ausgezeichneten Reproduzierbarkeit als Transferstandard anerkannt. Das VIM-1 wurde speziell für die Messung abgeschlossener Vakuumsysteme entwickelt.

## Merkmale

- Messbereich 100 bis 0.001 Pa (1 bis  $10^{-5}$  hPa)
- robuster Messkopf mit 3m Kabel (verlängerbar auf 6m)
- billiger und zuverlässiger Sensor (Stahlkugel)
- keine Beeinflussung des Vakuums durch die Messung
- Vakuumraum muss für die Messung nicht geöffnet werden
- keine elektrischen Durchführungen in den Vakuumraum
- Messverfahren erfordert keine Kalibrierung
- ausgezeichnete Langzeitstabilität und Reproduzierbarkeit
- ideal zur Messung hermetisch verschlossener Vakuumräume
- einfache Vernetzbarkeit über RS-485 zur Überwachung mehrerer Messstellen

*The VIM-1 Vacuum Insulation Monitor is a molecular drag manometer using a spinning sphere as a pressure sensor. This measurement principle is well established and accepted world-wide as a transfer standard due to its excellent reproducibility. The VIM-1 has been designed with emphasis on the monitoring of static vacuum systems.*

## Features

- *Measuring range 100 to 0.001 Pa (1 to  $10^{-5}$  hPa)*
- *Rugged measuring head with 3m cable (may be extended to 6m)*
- *Low cost reliable sensor (steel ball)*
- *Measurement does not affect pressure or gas composition*
- *No need to open the vacuum chamber for measurement access*
- *No electrical feedthroughs into the vacuum chamber*
- *Measurement principle needs no calibration within the specified accuracy*
- *Excellent long-term stability and reproducibility*
- *Ideal for the monitoring of sealed vacuum products*
- *Simple connection of multiple units via RS-485 for the surveillance of multiple vacuum chambers*

## Einsatz und Anwendungen

Das VIM-1 kann eingesetzt werden:

- bei der Evakuierung des Produkts
- zur Qualitätskontrolle am fertigen Produkt
- im Service vor Ort
- zur Überwachung des Vakuums im laufenden Betrieb
- bei der Entwicklung neuer Produkte

Typische Anwendungsgebiete sind:

- Vakuumisolierte Rohrleitungen für Flüssiggase (z.B. für die Raketenbetankung)
- Vakuumisolierte supraleitende Hochspannungskabel (HVDC)
- Vakuumisolierte Hochtemperaturbatterien (NaS)
- Isoliergefäße in der Kryotechnik
- Spezialbehälter für Wärmespeicherung
- Vakuum-Panels zur Wärmeisolierung
- sonstige Vakuummessungen

## Funktionsprinzip

Das System besteht aus einem Messkopf mit Betriebsgerät und einem Messrohr mit darin befindlicher Kugellagerkugel (Durchmesser 4,5mm) als Sensor.

Der Messkopf enthält das für die Lagerung, Schwingungsdämpfung, Beschleunigung und Drehzahlmessung der Sensorkugel benötigte Magnet- und Spulensystem sowie einen Temperaturfühler.

Das einseitig verschlossene Messrohr wird direkt am Rezipienten angeschweißt, es kann aber auch mittels einer Flanschverbindung angebracht werden. Messrohr und Sensorkugel sind somit fester Bestandteil des Vakuumsraums.

Es werden keine mechanischen oder elektrischen Durchführungen benötigt.

Zum Messen wird der Messkopf einfach außen auf das Messrohr geschoben und fixiert. Während der Messung wird die Sensorkugel in dem Messrohr magnetisch in der Schwebe gehalten und damit praktisch reibungsfrei gelagert.

## Benefits and Applications

The VIM-1 may be used for:

- Control of vacuum during production
- Quality monitoring of finished product
- Service in the field
- Surveillance of critical vacuum systems
- Development of new products

Typical fields of application are:

- Vacuum-insulated pipelines for liquid gases (e.g. fuelling of rockets)
- Vacuum-insulated superconducting high voltage cables (HVDC)
- Vacuum-insulated high temperature batteries (NaS)
- Vacuum-insulated dewars
- Vacuum-insulated tanks for thermal energy storage
- Vacuum panels for thermal insulation
- General vacuum measurement

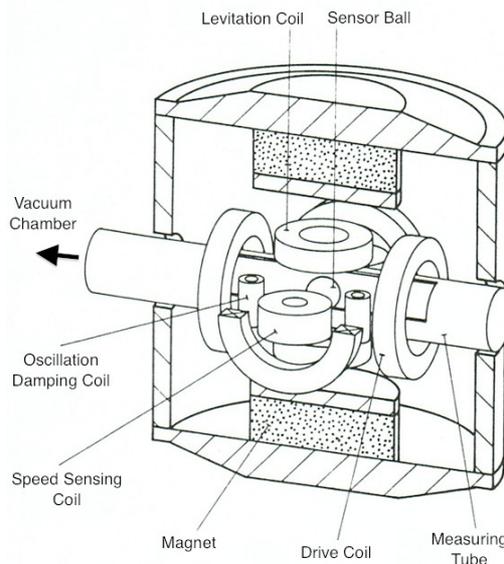
## Principles of Operation

The system is comprised of a measuring head, a control unit and a stainless steel measuring tube containing a 4.5mm ball-bearing ball serving as the pressure sensor.

The measuring head contains the magnet and coil system needed for levitation, oscillation damping, acceleration, speed sensing of the sensor ball and includes a temperature sensor.

The measuring tube is sealed at one end while the other end is attached to the vacuum chamber, either by welding or by means of a flange connection. Measuring tube and sensor ball are therefore part of the vacuum chamber.

The sensor does not need any mechanical or electrical feedthroughs to the outside. For measurement, the measuring head is pushed onto the measuring tube, vertically adjusted by means of the integrated bubble level and then fixed.



Schnitt durch Messkopf (vereinfacht)

Cross section of measuring head (simplified)

means of the integrated bubble level and then fixed.

Die Sensorkugel wird auf über 600 Umdrehungen pro Sekunde beschleunigt, anschließend wird sie durch tangentialen Impulsaustausch mit den im Messrohr befindlichen Gasmolekülen abgebremst (Gasreibung). Dabei wird fortlaufend die Umdrehungszeit der Kugel gemessen und daraus deren relative Zunahme, d.h. die relative Verzögerung der Kugel ermittelt.

Es kann gezeigt werden, dass bis etwa  $10^{-3}$  hPa die relative Verzögerung  $\gamma$  einer frei rotierenden Kugel proportional zum Gasdruck  $p$  und umgekehrt proportional zur mittleren Teilchengeschwindigkeit  $\bar{c}$  ist, gemäß der Beziehung

$$\gamma = \frac{10\sigma}{\pi\rho a} \frac{p}{\bar{c}}$$

worin  $\sigma$  der effektive tangentielle Impulsaustauschkoeffizient (Reibungskoeffizient),  $\rho$  die Dichte der Kugel und  $a$  der Radius der Kugel ist.

Der Koeffizient  $\sigma$  gibt den Grad des tangentialen Impulsaustauschs an; bei vollständiger Impulsübertragung hat er den Wert 1. Bei den als Sensor verwendeten Kugeln beträgt die Abweichung vom Idealwert weniger als 1%. Das VIM-1 erfüllt damit das Kriterium für ein fundamentales Druckmessgerät (vergleichbar z.B. mit einem U-Rohr-Manometer), das keiner Kalibrierung bedarf.

Mit steigendem Druck (oberhalb von  $10^{-3}$  hPa) wird die Druckabhängigkeit von  $\gamma$  geringer, da sich die Viskosität des Gases bemerkbar macht; der Impulsaustausch findet dann zunehmend zwischen den Gasmolekülen selbst statt. Dieser Sättigungseffekt ist aber physikalisch genau modellierbar und kann kompensiert werden, wenn die (temperaturabhängige) Viskosität des Gases und die Temperatur bekannt sind. Letztere wird von dem im Messkopf integrierten Temperaturfühler fortlaufend erfasst. Das VIM-1 verwendet für die Druckberechnung einen entsprechenden Linearisierungsalgorithmus.

Da sich bei sachgemäßer Behandlung der Reibungskoeffizient der Sensorkugel praktisch nicht ändert, verfügt das VIM-1 über eine ausgezeichnete Langzeitstabilität und Reproduzierbarkeit. Das Gerät muss niemals nachkalibriert werden, da eine Alterung der Elektronik keinen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse hat.

*During measurement, the sensor ball will be levitated by a magnetic field and will rotate freely with negligible friction. The sensor ball is accelerated to a speed of more than 600 rps and then allowed to coast. The sensor experiences a drag caused by tangential momentum transfer from the incident gas molecules inside the measuring tube (molecular drag). The angular speed of the sensor ball is measured continuously to determine its slowing down rate.*

*It can be shown that in the molecular regime, below  $10^{-3}$  hPa, the relative deceleration rate  $\gamma$  of a free-spinning sphere is proportional to the gas pressure  $p$  and inversely proportional to the mean molecular speed  $\bar{c}$ , according to the formula:*

$$\gamma = \frac{10\sigma}{\pi\rho a} \frac{p}{\bar{c}}$$

*where  $\sigma$  is the effective tangential momentum accommodation coefficient (the friction coefficient),  $\rho$  is the density of the sphere, and  $a$  is the radius of the sphere.*

*The coefficient  $\sigma$  represents the degree of tangential momentum transfer; it has the value 1 if the momentum is transferred completely. With the sensor balls used, the deviation of  $\sigma$  from this ideal value is less than 1%. The VIM-1 therefore is a fundamental gauge, as a liquid column gauge, which needs no calibration.*

*With rising pressure, above  $10^{-3}$  hPa, the pressure dependence of  $\gamma$  decreases slightly because of the increasing influence of the gas viscosity; incident molecules collide with molecules leaving the sensor. This saturation effect can be modelled precisely and can thus be compensated for if the (temperature-dependent)*

*viscosity of the gas and the temperature are known. The latter is continuously provided by the integrated temperature sensor. The VIM-1 uses an appropriate linearization algorithm during pressure calculation.*

*If the sensor ball is handled properly, its friction coefficient  $\sigma$  does not change with time. The VIM-1 therefore exhibits an excellent long-term stability and reproducibility. The unit never needs recalibration, since possible aging of the electronic circuits does not affect the reproducibility of the measurement readings.*



Messkopf mit schwebender Sensorkugel

*Measuring head with levitated sensor ball*

## Betriebsgerät

Das von einem 32-bit-Mikrocontroller gesteuerte Betriebsgerät enthält neben Spannungsversorgung und Messelektronik

- 6-stellige LED-Anzeige, Statusanzeigen und Bedientasten
- USB-Schnittstelle zur Fernsteuerung mit PC
- RS-485-Schnittstelle zur Vernetzung mehrerer Geräte untereinander (Überwachung mehrerer Messstellen) oder zur Fernsteuerung über größere Entfernungen
- nichtflüchtigen Speicher für 1023 Messwerte
- interne Uhr für die zeitliche Zuordnung der Messwerte
- RS-232-Ausgang zur Aufzeichnung von Messwerten auf einem Beistelldrucker
- druckabhängigen Schaltausgang 48VDC/0.5A (Halbleiterrelais)

Das Anzeigeintervall kann zwischen 3, 5, 10 und 20 Sekunden gewählt werden. Die gemessenen Drücke werden wahlweise in Exponentdarstellung mit 2 Nachkommastellen (hPa, Torr) oder in Festpunktdarstellung mit 4 Nachkommastellen (Pa) angezeigt. Ein konfigurierbares Median-Filter (Länge 3 oder 5) beseitigt störungsbedingte Schwankungen, z.B. bei mechanischer Unruhe der Messstelle.

Das VIM-1 kann an jedem Wechselspannungsnetz mit 90 bis 264 V und 47 bis 63 Hz betrieben werden. Die geräteinterne Uhr besitzt einen Lithium-Akku zur Pufferung bei Netzausfall.

Das VIM-1 kann über die USB-Schnittstelle von einem PC fernbedient und ausgelesen werden. Hierzu wird ein kleines PC-Programm kostenlos mitgeliefert, das auf allen 32-bit-Windows™-Versionen lauffähig ist.

Durch die einfache Vernetzbarkeit der Geräte über die integrierte RS-485-Schnittstelle wird die gleichzeitige Überwachung mehrerer Messstellen ohne großen Zusatzaufwand ermöglicht. Die maximale Kabellänge von 1000m erlaubt die Überwachung auch räumlich ausgedehnter Anlagen.

Für besondere Messaufgaben kann das VIM-1 auch für andere Gase oder Gasgemische konfiguriert werden.

## Control Unit

The control unit accommodates a 32-bit microcontroller, a power supply and the measurement electronics. It features:

- 6-digit LED display, status indicators and operation keys
- USB interface for remote control by a PC
- RS-485 interface for linking of control units (enabling simultaneous monitoring of multiple vacuum chambers) or for remote readout over greater distances (up to 1 km)
- Non-volatile memory, holding up to 1023 readings for offline capture
- Internal real-time clock, needed to add time-stamps to the readings
- RS-232 printer output to provide a hard copy of measurement results
- Pressure-activated switch output rated 48VDC/0.5A (solid state relay)

The display interval may be selected among 3, 5, 10, and 20 seconds according to the desired range and resolution. The measured results are displayed in exponent format with 2 decimal places when hPa or Torr is

selected or in fix point format with 4 decimal places when Pa is selected. A median filter (selectable length 3 or 5) reduces possible noise caused by mechanical disturbance of the measuring head.

The VIM-1 may be connected to any power source rated 90 to 264 VAC/47 to 63 Hz. The internal real-time clock is supplied by a rechargeable lithium battery during power-down periods.

The VIM-1 may be connected to a PC via USB for remote control. A small program, VIM Remote

Readout, running on all 32-bit versions of Windows™, is included free of charge.

The simple connection via RS-485 allows the simultaneous monitoring of multiple chambers with minimum additional hardware. The maximum allowable cable length is 1000m, enabling the surveillance of extensive facilities.

For special applications, the VIM-1 may be configured to measure pure gases or user-defined gas mixtures.



Schutzrohr, Messrohr, Sensorkugel und Haltemagnet (von links)

*Protective cover, measuring tube, sensor ball, retaining magnet (from left to right)*