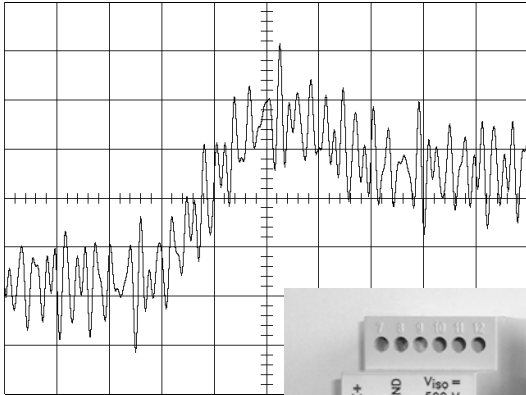
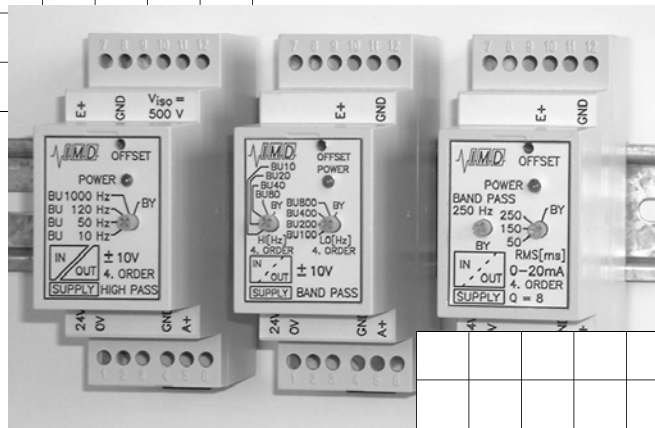


## Serie TS - Signalkonditionierung & mehr für die Tragschiene

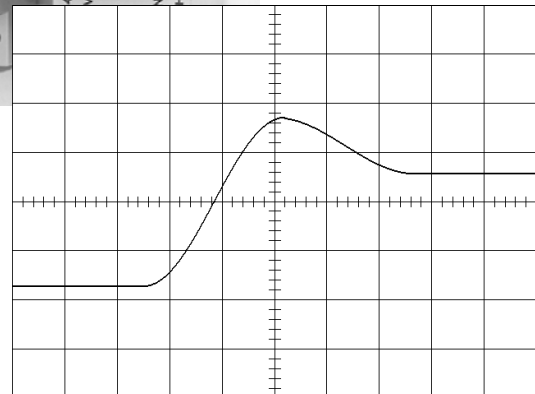


Wenn das Ihr Problem ist, ...

... haben wir ...



... die Lösung!



Verschiedene Funktionskarten und das wohl kleinste Systemgehäuse der Welt sind die Basis des Signalkonditionierungs-Systems *Serie TS* für die 35 mm-Tragschiene.

Aufbereitet werden Messsignale in Form von Spannung ( $\pm 10\text{ V}$  oder auch kleiner) oder Strom (z. B.  $0/4\text{-}20\text{ mA}$ ), sowie von PT-1000-Sensoren.

Alle Module werden individuell nach Kundenwunsch zusammengestellt; nach Endmontage und Test wird jedes TS...-Modul anschlussfertig ausgeliefert.

Auch Einzelstücke mit speziellen Frequenzen und Signalbereichen sind problemlos und extrem schnell lieferbar.

Bestückt mit ein oder zwei Funktionskarten mit Filter, RMS-Konverter (Echt-Effektivwert) oder galvanischer Trennung löst jedes Modul signaltechnische Probleme elegant auf 35 mm Breite.

Desweiteren sind auch Addierer, Mischer, Präzisions-(Mess-)Gleichrichter, PT1000-Verstärker, Konstantstromquellen und Anschlussadapter im Lieferprogramm der Serie TS. Weitere Funktionskarten sind in Entwicklung.

Serie-TS-Module benötigen eine geglättete oder stabilisierte DC-Spannung zwischen 5 V und 32 V als Versorgung, der Signalpfad ist bei allen Ausführungen galvanisch von der Versorgung getrennt.

## Inhaltsverzeichnis

Was ist Signalkonditionierung? Konzept der Serie TS.....	2
Signalkonditionierung!.....	3
Tiefpassfilter.....	6
Hochpassfilter.....	6
Bandpassfilter.....	6
Multifunktions-Addierer (Summierer).....	7
Multiplizierer (Mischer).....	7
Präzisionsgleichrichter.....	8
Konstantstromquelle.....	8
PT 1000-Verstärker.....	8
Anschlusseinheiten.....	9
Technische Daten.....	10
So dimensionieren Sie <i>Ihren</i> TS-Tiefpass.....	11
So dimensionieren Sie TS-Hochpässe.....	13
So dimensionieren Sie TS-Bandpässe.....	14
Zeitkonstanten zur Effektivwertbildung (RMS).....	15
Bestellinfos zu Modulen der Serie TS.....	17
Signalkonditionierung - selbst machen oder kaufen - make or buy?.....	22
Abmessungen.....	23

## Was ist Signalkonditionierung? - Konzept der Serie TS

Signalkonditionierung meint im Folgenden die Bearbeitung von Analogsignalen in analogen Baugruppen mit dem Ziel eines besser oder überhaupt erst verwendbaren neuen Analogsignals.

Nach wie vor arbeiten die meisten Regelkreise noch immer analog, und digitale Signalverarbeitung beginnt mit der AD-Wandlung eines Analogsignals. Beide Anwendungen stellen konkrete Ansprüche an die Signalqualität.

Diese Broschüre spricht verschiedene Gesichtspunkte der Signalkonditionierung an, freilich ohne das gesamte komplexe Themengebiet abdecken zu können oder bis ins letzte Detail zu gehen.

Anschließend werden nützliche Module vorgestellt, die im Problemfall Abhilfe bringen und durch ihre kurze Lieferzeit manchen Zeitplan retten können.

Mehrere Fachaufsätze im hinteren Teil des Heftes helfen bei der Festlegung der Parameter, die bei den Modulen individuell ausgelegt werden können.

### **Kundenspezifische Ausführung innerhalb 48 Stunden**

Mit schöner Regelmäßigkeit tauchen Probleme ausgerechnet in letzter Sekunde bei der Inbetriebnahme von Anlagen und Prüfständen auf. Oder eine kleine Änderung an einer bestehenden Anlage verursacht große Probleme bis hin zum Anlagenstillstand.

In dieser Situation ist eine schnelle Lösung gefragt, und so wurde die Serie TS auch als schnelle 'Notfallhilfe' entwickelt: Maßgeschneiderte Signalaufbereitung für die Tragschiene. Die Module sind extrem flexibel in ihrer Auslegung und äußerst einfach in der Handhabung: Anschließen - läuft!

Für die letzte Restunsicherheit zwischen Theorie und Praxis bieten z. B. Filter bis zu vier einstellbare Eckfrequenzen und RMS-Konverter drei wählbare Zeitkonstanten nach Kundenwunsch.

# Signalkonditionierung!

Messsignale in Form von Spannung ( $\pm 10$  V oder weniger) und Strom (z. B. 0/4-20 mA) sind oft nicht unmittelbar für eine weitere Auswertung geeignet. Teilweise sind sie durch Störungen beeinträchtigt, im schlimmsten Fall bis zur Unbrauchbarkeit. Es gibt aber auch andere Gründe für die Notwendigkeit einer Signalkonditionierung:

## **Das Signal ist zu klein**

Die Auswerteeinheit wird schlecht angesteuert, vielleicht nur 5 von 12 Bits. Der Signal-Rausch-Abstand (SNR) ist gering. Hier hilft ein Verstärker; oft kann ein ohnehin erforderliches TS-Modul (Filter, RMS, galvanische Trennung) mit einer Verstärkung ausgestattet werden.

## **Das Signal ist zu groß**

Es übersteuert oder gefährdet die Auswerteeinheit. Ein Präzisionsteiler verkleinert das Signal. Ab ca. 100 kHz ist ein frequenzkompensierter Teiler sinnvoll. Übersteigt das Eingangssignal den Niederspannungsbereich (Lebensgefahr möglich ab 42 V), so ist meist ein Teiler mit galvanischer Trennung erforderlich. Eine galvanische Trennung ist auch immer ein guter Schutz für die nachfolgende Elektronik.

## **Das Signal liegt auf hohem Potential**

Bei z. B. Umrichtern liegen Feedbacksignale und Ansteuerung von MOSFETs und Thyristoren im Kleinsignalbereich, allerdings liegt die komplette Schaltung auf  $>380$  V. Ein Trennverstärker erlaubt eine gefahrlose Messung, eine Abschwächung oder Verstärkung des Messsignals kann direkt implementiert werden.

## **Das Signal hat keine zur Auswertung geeignete Form**

Der Messwert ist z. B. der Widerstand eines potentiometrischen Gebers, RTDs wie PT100 oder PT1000, der Abgriff einer Teil- oder Vollbrücke, oder ein Strom (oft 0/4-20 mA).

Die Signalkonditionierung macht daraus eine Spannung, z. B. im Industriebereich  $\pm 10$  V. Im weiteren Sinne gehört zur Signalkonditionierung auch die Sensorversorgung mit Brückenspannung oder

Konstantstrom. Bei konstantstromgespeisten Brücken entfällt der Einfluß des Zuleitungswiderstandes, bei Schwingungsaufnehmern mit 4 mA-Speisung wird die über dem Sensor abfallende Spannung moduliert und AC-gekoppelt.

## **Pulsbreitenmodulation**

Die Ansteuerung mit Pulsbreitenmodulation basiert auf dem Tiefpassverhalten der Last. Diese Bedingung ist durch die träge Masse von Motoren, Tauchkern und -spulen erfüllt. Die Speiseimpulse werden in Praxis zwar verschliffen, enthalten aber immer noch Oberwellen der ursprünglichen Rechteckimpulse. Wird die Ansteuerung durch Spannungsmessung überwacht, so steckt die gestellte Leistung in der aufmodulierten Grundschwingung. Die verbliebenen Oberwellen sind problematisch, bei einer Messung per AD-Wandler werden sie bei zu geringer Abtastrate durch den Aliasing-Effekt den Messwert stark verfälschen.

## **Das Signal repräsentiert nicht die benötigte physikalische Größe**

Eigentlich wird der Mittel-/ Effektiv-/ Spitzenwert oder der gleichgerichtete / integrierte / differenzierte Wert benötigt. Eine Anlogschaltung konvertiert das Signal in Echtzeit, kann nicht abstürzen und muss nicht programmiert werden.

Diese Art von Signalkonditionierung kann auch ein Rechner nach vorheriger AD-Wandlung durchführen; ein einfacher Regler oder eine SPS kann es meist nicht und benötigt das Signal analog aufbereitet. Es sei auch darauf hingewiesen, dass das digitale Pendant manch simpler Analogfunktion erhebliche Rechnerleistung benötigt.

## Das Signal ist gestört

Rauschen, Schaltspikes und unerwünschte Frequenzanteile machen Messwerte unbrauchbar; die Genauigkeit einer nachfolgenden AD-Wandlung erreicht z. B. nicht annähernd die Auflösung des Wandlers; oder der Nulldurchgang eines Signals ist im Rauschen nicht eindeutig zu lokalisieren (Abbildung 1).

Die Ursache der Störungen erscheint mitunter mysteriös. Einfacher als der Umbau eines Prüfstandes oder die Neuverkabelung einer ganzen Halle ist der Einsatz passender Filter / Trennverstärker, die die Störungen entfernen.

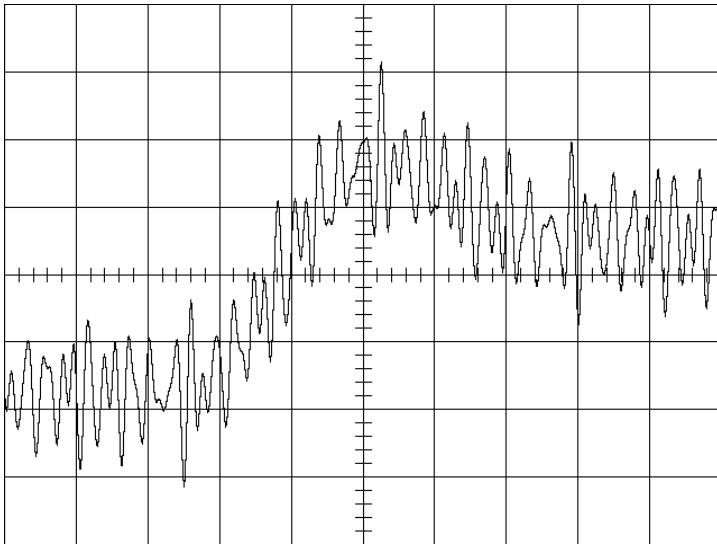


Abb. 1 - Signal vor Filterung

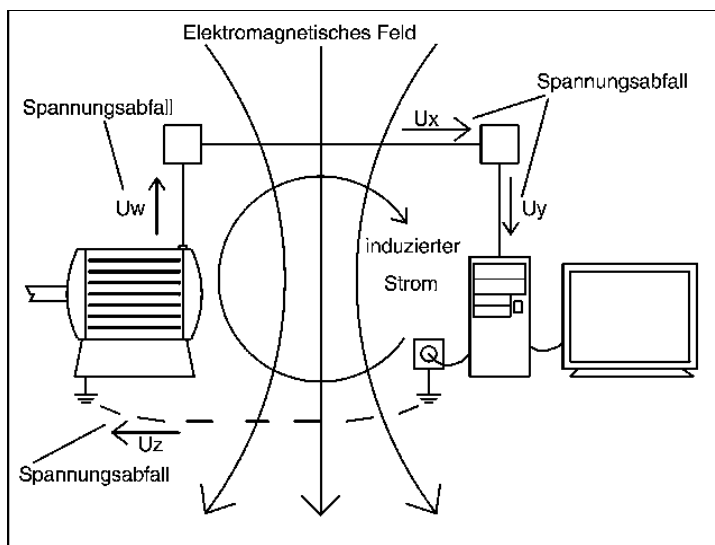


Abb. 2 - Erdschleife, induzierte Störspannungen

Eine mögliche Störursache sind Ausgleichsströme: Potentialdifferenzen zwischen verschiedenen Punkten der Messkette führen zu einem Ausgleichsstrom über den Weg des geringsten Widerstandes, wobei das gerade bei höheren Frequenzen nicht unbedingt der ohmsche Widerstand ist, den ein Multimeter anzeigen würde. Der entstehende ohmsche Spannungsabfall an den beteiligten Abschnitten überlagert sich natürlich dem Messsignal, genau mit dem Zeitverlauf des Ausgleichstromes.

Eine andere häufige Ursache ist die Erdschleife: Erd-, Masse- und Schutzleitungen, Maschinen und ihre Sockel, angeschlossene Sensoren, Computer und Steckdosen bilden eine Leitungsschleife (Abbildung 2). In diese Ringantenne induziert jedes einwirkende elektromagnetische Feld unweigerlich einen Strom, der wiederum zu Spannungsabfällen führt. Abhängig von Stärke und Frequenz der induktiven Einstreuung ist der Effekt, der sich natürlich auch dem Messsignal überlagert.

Das Problem an der Wurzel packt ein Trennverstärker, der die Erdschleife öffnet und damit die Induktion eines Stromes verhindert bzw. den bevorzugten Weg eines Ausgleichstromes unterbindet, der dann seinen 'regulären' Weg über Erdung und Schutzleiter nehmen muss.

Ein Trennverstärker überträgt das Nutzsignal optisch, kapazitiv oder induktiv über eine isolierende Trennstrecke, die Spannungsfestigkeit der Isolierstrecke muss für die Anwendung geeignet sein.

Technisch bedingt hat ein Trennverstärker immer eine begrenzte Bandbreite, was bei Messsignalen höherer Frequenz oder mit Oberwellen besonders zu beachten ist.

Eine andere Lösungsstrategie ist die "symptomatische Behandlung" mittels Filter: Ein Bandpassfilter lässt gezielt Frequenzen von Interesse durch, eine Bandsperre entfernt

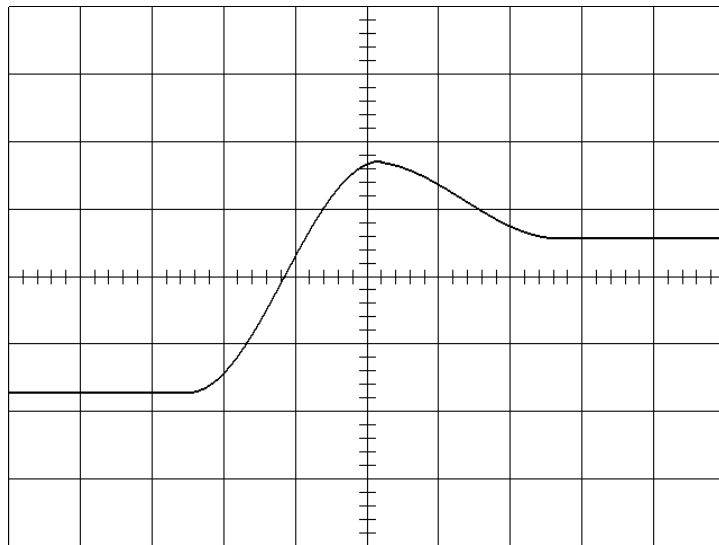


Abb. 3 - nach Tiefpassfilterung, Nulldurchgang klar

bestimmter Signalanteile bestimmter Frequenz wie z. B. Netzbrummen von 50 Hz. Mit Tief- und Hochpass trennt man einen Durchlass- vom Sperrbereich, eine hohe Filterordnung erzielt dabei eine scharfe Trennwirkung (Abbildung 3). Je nach Zielsetzung kann z. B. bei einem rotierenden Lager ein Hochpassfilter verschleißbedingte Oberwellen ermitteln, ein Tiefpass dagegen derartige Alterungseffekte aus dem Messsignal ausblenden.

### Aliasing-Effekt

Frequenzanteile im Signal oberhalb der halben Abtastrate  $f_{\text{Sample}}/2$  des AD-Wandlers führen zum sogenannten Aliasing-Effekt: Die Frequenz wird an  $f_{\text{Sample}}/2$  gespiegelt. Beispiel: Eine Frequenz 10 Hz unterhalb  $f_{\text{Sample}}/2$  wird bei der AD-Wandlung nicht beeinflusst, eine Frequenz 10 Hz oberhalb erscheint nach der AD-Wandlung als eine Frequenz 10 Hz unterhalb  $f_{\text{Sample}}/2$ . Das ist das natürlich eine gefährliche Fehlerquelle.

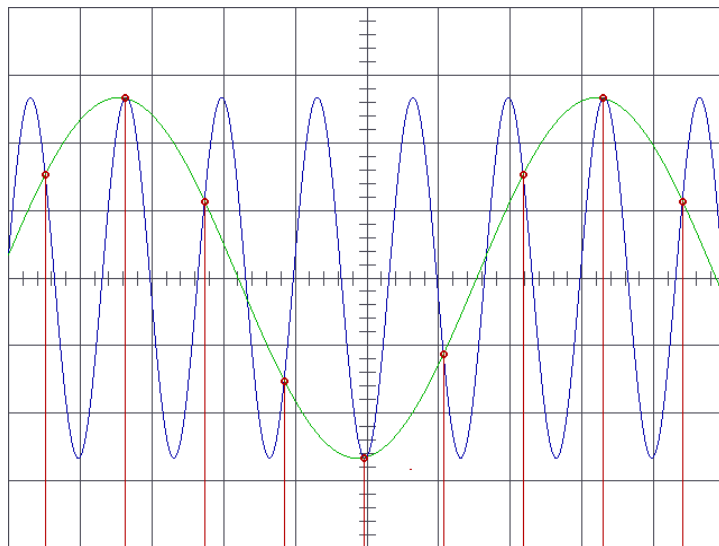


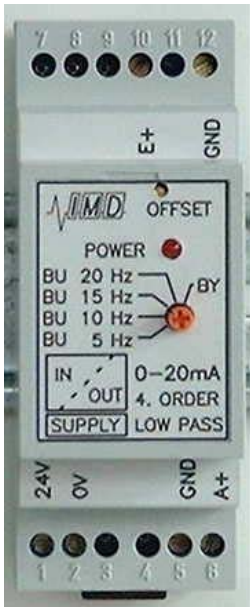
Abb. 4 - Aliasing-Effekt

Abbildung 4 zeigt, wie die schnelle Schwingung anhand der zu geringen Abtastrate fehlerhaft als langsame Schwingung interpretiert wird. Die einzige Lösung für dieses Problem ist ein zeitkontinuierliches Tiefpassfilter, dessen Eckfrequenz an die Abtastrate angepasst ist. Es dämpft Signalanteile oberhalb  $f_{\text{Sample}}/2$  soweit, dass sie nicht stören. (Zeitdiskrete switched-capacitor-filter sind selbst Abtastsysteme, bei denen wieder das Abtasttheorem einzuhalten ist.)

Weil die optimale Dimensionierung schwer festzulegen ist, sind Filter der Serie TS mit bis zu vier Einstellungen nach Wunsch für Eckfrequenz, Charakteristik und Zeitkonstante lieferbar, mittels Drehschalter kann dann diejenige eingestellt werden, die ein optimales Ergebnis liefert.

### Signalkonditionierung mit der Serie TS

Für fast alle der oben genannten Punkte bietet die Serie TS eine Lösung. Die Module zum Aufschnappen auf 35 mm-Tragschiene kombinieren teilweise auch zwei oder drei Funktionen, was Platz, Verdrahtungszeit und Geld spart. Auf den folgenden Seiten wird das aktuelle Lieferprogramm vorgestellt.

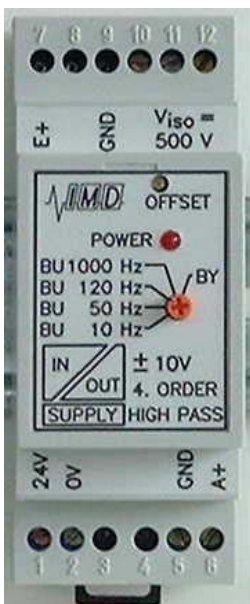


### TSTP - Tiefpassfilter

- Beseitigung von Rauschen und Störimpulsen
- Bandbegrenzung
- Anti-Aliasing-Filterung

#### Tiefpassmodule der Serie TS:

- Tiefpassfilter 2., 4., 6. oder 8. Ordnung
- Wahlschalter für bis zu 4 Eckfrequenzen zwischen 1 Hz und 10 kHz sowie Bypass
- für jede Eckfrequenz separat festgelegte Charakteristik nach Bessel, Butterworth oder Tschebyscheff
- für Signale von  $\pm 10$  V oder 0-20 mA
- auch mit vorgeschalteter galvanischer Signaltrennung
- auch mit nachgeschalteter Echt-Effektivwert-Ermittlung (RMS) mit bis zu drei einstellbaren Zeitkonstanten



### TSHP - Hochpassfilter

- Unterdrückung von Grundschrwingungen und Trittschall
- Beseitigung von DC-Offset und 50 Hz-Netzbrummen
- Bandbegrenzung

#### Hochpassmodule der Serie TS:

- Hochpassfilter 2., 4., 6. oder 8. Ordnung
- Wahlschalter für bis zu 4 Eckfrequenzen zwischen 1 Hz und 10 kHz sowie Bypass
- für jede Eckfrequenz separat festgelegte Charakteristik nach Bessel, Butterworth oder Tschebyscheff
- für Signale von  $\pm 10$  V oder 0-20 mA
- auch mit vorgeschalteter galvanischer Signaltrennung
- auch mit nachgeschalteter Echt-Effektivwert-Ermittlung (RMS) mit bis zu drei einstellbaren Zeitkonstanten

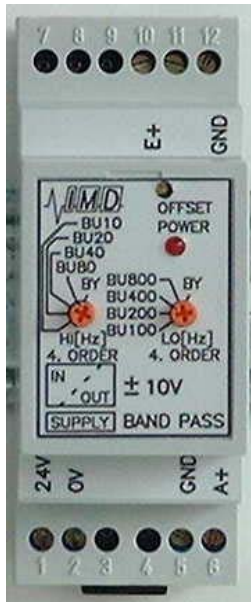


### TSBP - Bandpassfilter als Mittenbandpass

- gezielte Frequenzauswahl
- Pumpen- und Maschinenüberwachung
- Signalbewertung - Bewertungsfilter

#### Mittenbandpassmodule der Serie TS:

- Bandpassfilter 2., 4., 6. oder 8. Ordnung
- beliebige feste Mittenfrequenz (Durchlassfrequenz) zwischen 5 Hz und 5 kHz
- beliebige Güte Q bis zu 12
- Wahlschalter für Bypassfunktion
- für Signale von  $\pm 10$  V oder 0-20 mA
- auch mit vorgeschalteter galvanischer Signaltrennung
- auch mit nachgeschalteter Echt-Effektivwert-Ermittlung (RMS) mit bis zu drei einstellbaren Zeitkonstanten

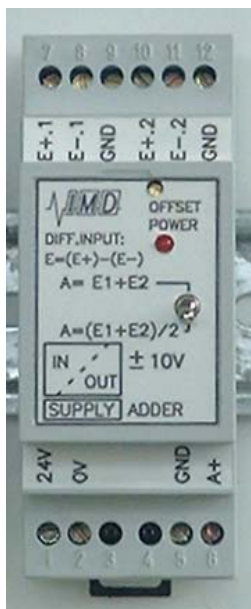


### TSBP - Bandpassfilter als Breitbandpass

- gezielte Frequenzbandauswahl
- Bewertungsfilterung
- Kombination von Hoch- und Tiefpass in einem Modul

### Breitbandpassmodule der Serie TS:

- separate Hoch- und Tiefpassfilterstufe, jeweils 2., 4., 6. oder 8. Ordnung
- jeweils bis zu 4 beliebige Eckfrequenzen zwischen 1 Hz und 10 kHz für Hoch- und Tiefpassflanke
- für jede Eckfrequenz separat festgelegte Charakteristik nach Butterworth, Bessel oder Tschebyscheff
- Bypassfunktion
- Schalter zur Frequenzwahl
- für Signale von ±10 V oder 0-20 mA

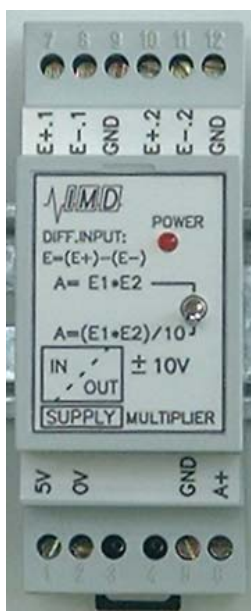


### TSAD - Multifunktions-Addierer (Summierer)

- Verknüpfung zweier Signale
- Offsetbeeinflussung
- Aufbau von Regelschleifen

### Addierermodule der Serie TS:

- zwei Differenzeingänge
- für Signale von ±10 V
- per Beschaltung 4 Funktionen:  
 $A = E1 + E2$   
 $A = -(E1 + E2)$   
 $A = E1 - E2$   
 $A = E2 - E1$
- zuschaltbare Normierung :2

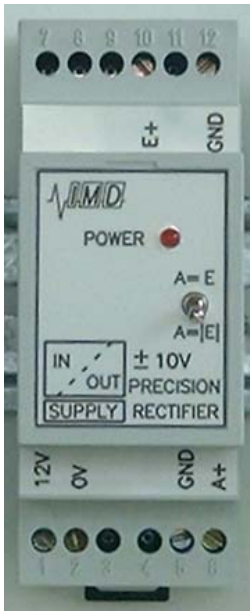


### TSMP - Multiplizierer (Mischer)

- spannungsgesteuerte Verstärkung
- Modulation / Demodulation
- Verknüpfung zweier Signale
- Aufbau von Regelschleifen

### Multiplizierermodule der Serie TS:

- zwei Differenzeingänge
- für Signale von ±10 V
- per Beschaltung 2 Funktionen:  
 $A = E1 * E2$   
 $A = -(E1 * E2)$
- zuschaltbare Normierung :10

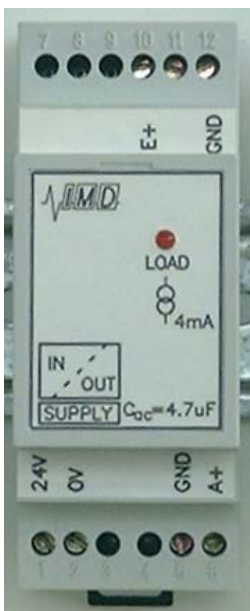


### TSPGL - Präzisionsgleichrichter

- Gleichrichtung vor Grenzwertüberwachung
- Betragsbildung

#### Präzisionsgleichrichtermodule der Serie TS:

- Bandbreite DC - 50 kHz
- Wahlschalter für Bypassfunktion
- für Signale von  $\pm 10$  V
- auch mit vorgeschalteter galvanischer Signaltrennung
- auch mit vor- oder nachgeschalteter Tief- / Hoch- / Bandpass-Filterfunktion aus der TS-Reihe



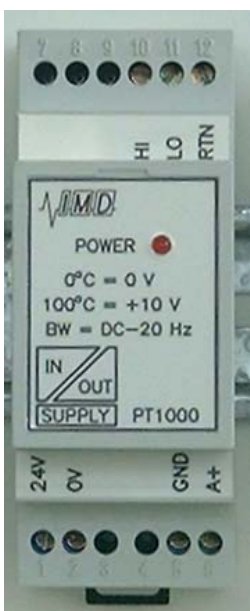
### TSIC - Konstantstromquelle zur Sensorversorgung

- Speisung von 4 mA-Schwingungsaufnehmern, DMS-Brücken
- Versorgung von ICP<sup>®</sup>-Sensoren

#### Konstantstromquellenmodule der Serie TS:

- 4 mA Konstantstromquelle,  $U_{\text{Leerlauf}} = 28$  V
- 4 mA bei Lastspannung von 0 V bis 25 V
- für Signale von bis zu 25 V<sub>SS</sub>
- AC-Signalauskopplung über 4,7 µF, ausgangsseitiger Abschlusswiderstand von 10 MΩ integriert
- Kontroll-Leuchtdiode (LED) für Laststrom / Kabelbruch
- auch als Zweikanalversion lieferbar

ICP<sup>®</sup>: Eingetragenes Warenzeichen der PCB Piezotronics Inc.



### TSPT - Verstärker für PT 1000-Sensoren

- Temperaturmessung mit allen PT 1000-Sensoren nach DIN EN 60751 - TK von 0,003850 / °C

#### PT 1000-Verstärkermodule der Serie TS:

- hohe Störsicherheit durch differenzielle Messung in 3-Leiter-Technik
- mögliche Bandbreite von 100 Hz für hohe zeitliche Auflösung schneller Temperaturvorgänge und zur Erkennung von Temperaturänderungen schon im Ansatz
- Tiefpassfilter nach Wunsch reduziert Rauschen und schafft definierte Bandbreite
- Ausgang  $\pm 10$  V oder 0-20 mA
- erdfreier Sensor-Eingang durch galvanische Signaltrennung





#### TSBNC - BNC-Anschlusseinheit

- zwei einfache Messpunkte im Schaltschrank
- schneller Zugriff mit Oszilloskop u. ä. auf Testpunkte
- Einspeisemöglichkeit für Diagnose

#### BNC-Anschlusseinheit der Serie TS:

- zwei potentialfreie BNC-Buchsen
- Beschriftungsfeld
- keine Versorgung erforderlich
- großer Isolierabstand
- für beliebige Signale
- Baubreite 17 mm



#### TS4MM - Anschlusseinheit für 4 mm-Bananenstecker

- einfacher Messpunkt im Schaltschrank
- schneller Zugriff mit Multimeter u. ä. auf Testpunkte
- Einspeisemöglichkeit für Diagnose

#### 4 mm-Buchsen-Anschlusseinheit der Serie TS:

- potentialfreies Paar 4 mm-Buchsen (für Bananenstecker)
- Buchsen im Normabstand 19,05 mm
- Beschriftungsfeld
- keine Versorgung erforderlich
- für beliebige Signale
- Baubreite 17 mm



#### TSCC - custom connector - individuelle Anschlusseinheit

- einfacher Messpunkt im Schaltschrank
- schneller Zugriff auf Testpunkte
- Einspeisemöglichkeit für Diagnose

#### Individuelle Anschlusseinheiten der Serie TS:

- Steckverbinder und Belegung nach Kundenwunsch, auch als Einzelstück
- Beschriftungsfeld
- keine Versorgung erforderlich
- potentialfrei
- für beliebige Signale
- bis zu 6 Schraubklemmen bei Baubreite 17 mm
- bis zu 12 Schraubklemmen bei Baubreite 35 mm
- bis zu 25 Schraubklemmen bei Baubreite 71 mm

## Technische Daten

**Hilfsversorgung** - mehrere Varianten stehen zur Wahl:

1. Industriestandard	+24 V DC $\pm 10\%$ (+21,6...26,4 V)
2. DC Weitbereich	+18...32 V DC
3. stabilisierte +15 V DC	+15 V DC $\pm 10\%$ (+13,5...16,5 V)
4. stabilisierte +12 V DC	+12 V DC $\pm 10\%$ (+10,8...13,2 V)
5. Kfz-Bordnetz +12 V DC	+12 V DC -15/+40 % (+10,2...16,8 V)
6. stabilisierte +5 V DC	+5 V DC -6/+20 % (+4,7... 6,0 V)
Stromaufnahme	ca. 40 mA @ +24 V typ.
(differiert nach Typ und Versorgung)	ca. 55 mA @ +12 V typ.
Trennspannung Signalpfad - Hilfsversorgung	500 V

## Signalbereich Eingang / Ausgang

Spannungsversion	$\pm 10$ V, $R_E = 1$ M $\Omega$
Kleinere Eingangsbereiche mit integrierter Festverstärkung auf Anfrage!	
Stromversion	0-20 mA, $R_E = 500$ $\Omega$

## Genauigkeit

Verstärkung, Linearität	Fehler < 1 ‰, typ. 0,2 ‰
Offset	trimmbar
Drift	0,1 mV / °C
Rauschen	< 1 mV <sub>RMS</sub>
Filterordnung	2. - 8. Ordnung lieferbar
Filtercharakteristik	Bessel, Butterworth oder Tschebyscheff 0,5 dB
Eckfrequenz Tief-/Hoch-/Breitbandpass	1 Hz - 10000 Hz lieferbar, Frequenzfehler < 3 %
Mittelfrequenz Bandpass	5 Hz - 5000 Hz lieferbar, Güte bis zu 12 möglich, Frequenzfehler < 2 %
Signal-Rausch-Abstand / Sperrdämpfung	> -72 dB, typ. -78 dB
Bypass-Bandbreite	> 50 kHz

## RMS-DC-Konverter

Eingangssignal	$\pm 12$ V <sub>SS</sub> bzw. $\pm 24$ mA <sub>SS</sub> , $\pm 10$ V <sub>RMS</sub> bzw. $\pm 20$ mA <sub>RMS</sub>
Ausgangssignal	0-10 V bzw. 0-20 mA
Grundgenauigkeit ( $U_{RMS} \leq 7$ V)	$\pm 5$ mV $\pm 5\%$
Fehler durch Crestfaktor	
Crestfaktor 3	-0,1 %
Crestfaktor 7	-1 %
Bandbreite (< 1 % Fehler, $U_{RMS} > 1$ V)	> 100 kHz
Zeitkonstante	1 ms - 2 s lieferbar
Genauigkeit Zeitkonstante	Abweichung < 5 % typ.

## ISO-Funktion (Trennverstärker)

Trennspannung Eingang - Ausgang	500 V
Bandbreite der ISO-Stufe	25 kHz

Auf jedes Modul gewährt der Hersteller eine Garantie von 24 Monaten.

## So dimensionieren Sie *Ihren* TS-Tiefpass:

Diese Zusammenstellung über Tiefpassfilter zeigt **Abbildungen und mathematische Kennwerte von Filtern 4. Ordnung**. TSTP sind lieferbar in 2., 4., 6. und 8. Ordnung, entsprechende Diagramme und Kennwerte stellt IMD gerne zur Verfügung.

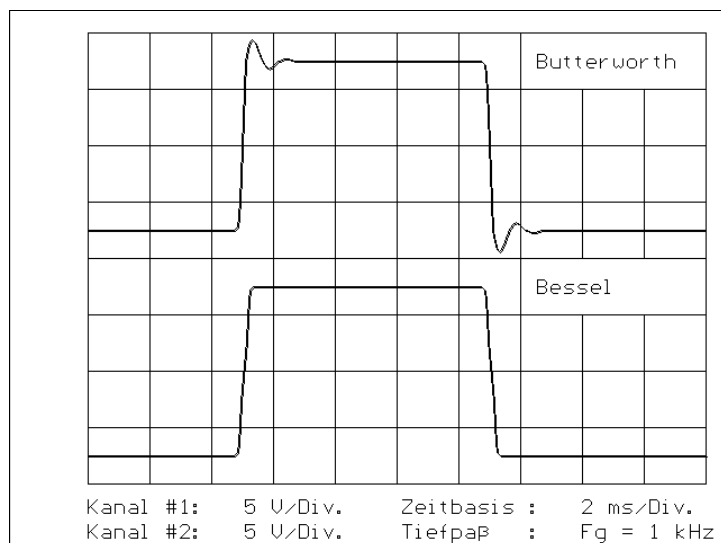


Abb. 5 - Antwort auf Rechtecksignal

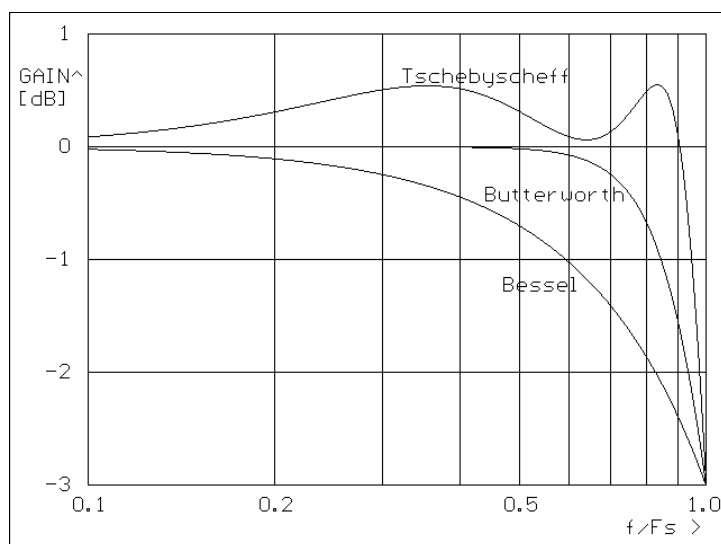


Abb. 6 - Amplitudengang Durchlassbereich

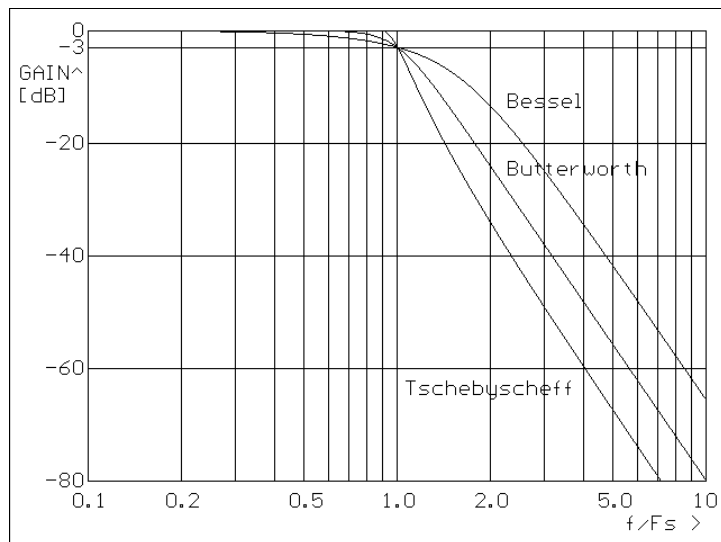


Abb. 7 - Amplitudengang

Zunächst ist die Wahl der **Filtercharakteristik** zu treffen:

Für steilflankige Signale wie z. B. Rechtecke ist Bessel die bessere Wahl, weil so das Signal nur geringfügig beeinträchtigt wird. Butterworth und Tschebyscheff weisen für steile Signalfanken ein Überschwingen (Abbildung 5) auf, das bei Filtern 4. Ordnung 11 % (Butterworth) und 18 % (Tschebyscheff) erreichen kann. Bessel-Filter 4. Ordnung schwingen nur um 0,8 % über, trennen aber dafür nicht so scharf beim Übergang vom Durchlass- in den Sperrbereich (Abbildungen 6 & 7).

Den Grund für das unterschiedliche Verhalten zeigt Abbildung 8: Bessel-Filter haben einen linearen Phasenverlauf bis weit über die Eckfrequenz hinaus, wodurch die für eine steile Flanke erforderlichen Oberwellen 'an ihrem Platz' bleiben.

Ist ein Bessel-Filter nicht zwingend erforderlich, so bleibt die Wahl zwischen Butterworth und Tschebyscheff.

Die Trennwirkung eines Filters steigt mit seiner Steilheit beim Übergang vom Durchlass- in den Sperrbereich. Tschebyscheff liegt hier noch vor Butterworth, Bessel folgt erst mit Abstand. Wie in Abb. 6 zu erkennen ist, weist Tschebyscheff aber eine Welligkeit der Verstärkung im Durchlassbereich (ideal = 1 > 0 dB) auf; 0,5 dB entsprechen ~ 6 %. Es ist im Einzelfall zu entscheiden, ob eine derartige Durchlasswelligkeit zulässig ist. Butterworth und Bessel verlaufen flach.

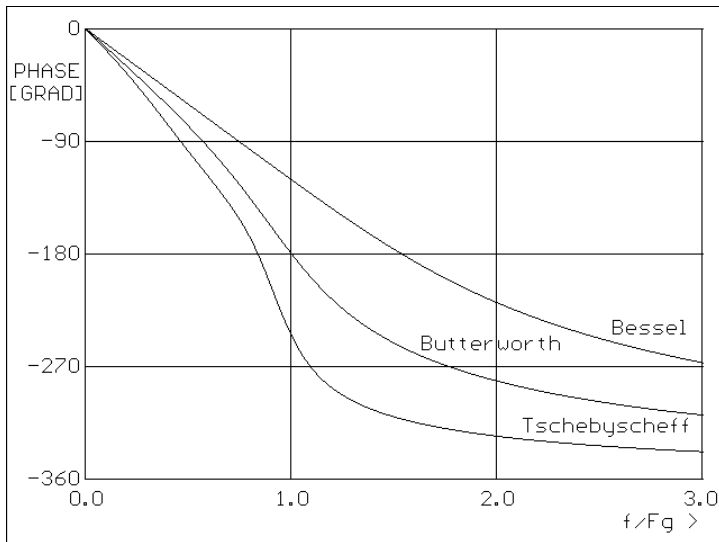


Abb. 8 - Phasengang

Zur Festlegung der **Filter-Eckfrequenz** gibt es zwei einfache Ansätze:

1. Man setzt im Durchlassbereich einen in der Anwendung tolerierbaren Amplitudenfehler fest und liest die zugehörige normierte Frequenz in Abb. 6 von der x-Achse ab.
2. Man setzt im Sperrbereich eine in der Anwendung erforderliche Mindestdämpfung fest und liest die zugehörige Frequenz in Abb. 7 von der x-Achse ab.

**Beispiel für Ansatz 1 (Werte für Filter 4. Ordnung):**

tolerierbar:	Bessel	Butterworth	Tschebyscheff
$\pm 0,1 \text{ dB @}$	$\sim 0,21$	$\sim 0,63$	$\sim 0,10$
$\pm 0,5 \text{ dB @}$	$\sim 0,41$	$\sim 0,77$	$\sim 0,93$

Soll nun ein Bessel-Filter eine (Nutz-)Frequenz von 200 Hz noch zu weniger als 0,5 dB dämpfen, so muss die Eckfrequenz  $200 \text{ Hz} / 0,41 = 488 \text{ Hz}$  betragen. Ein Butterworth-Filter könnte die Eckfrequenz von  $200 \text{ Hz} / 0,77 = 260 \text{ Hz}$  haben, ein Tschebyscheff-Filter  $200 \text{ Hz} / 0,93 = 215 \text{ Hz}$ . Wie in Abb. 7 abzulesen ist, würde ein 488 Hz-Bessel-Tiefpass eine Einstreuung von 1000 Hz ( $f/F_s = 1000/488 = 2,05$ ) mit -14 dB bedämpfen. Für ein 260 Hz-Butterworth-Filter liegen die 1000 Hz an der Stelle  $f/F_s = 1000 / 260 = 3,85$ . Dort erreicht das Butterworth-Filter schon eine Dämpfung von -47 dB. Das 215 Hz-Tschebyscheff-Filter hat an der Stelle  $f/F_s = 1000 / 215 = 4,65$  sogar schon eine Dämpfung von -65 dB.

**Beispiel für Ansatz 2 (Werte für Filter 4. Ordnung):**

gefordert:	Bessel	Butterworth	Tschebyscheff
- 40 dB @	$\sim 4,7$	$\sim 3,2$	$\sim 2,3$

Soll ein Bessel-Tiefpass eine Frequenz von 50 Hz mit mindestens -40 dB dämpfen, so muss die Eckfrequenz  $50 \text{ Hz} / 4,7 = 10,6 \text{ Hz}$  betragen. Ein Butterworth-Filter könnte die Eckfrequenz von  $50 \text{ Hz} / 3,2 = 15,6 \text{ Hz}$  haben, eines nach Tschebyscheff  $50 \text{ Hz} / 2,3 = 21,7 \text{ Hz}$ . Nun kann noch die  $\pm 0,5 \text{ dB}$ -Grenze wie oben berechnet werden:

Bessel:	$10,6 \text{ Hz} * 0,41 = 4,35 \text{ Hz}$
Butterworth:	$15,6 \text{ Hz} * 0,77 = 12,0 \text{ Hz}$
Tschebyscheff:	$21,7 \text{ Hz} * 0,93 = 20,2 \text{ Hz}$

Alle drei Filter dämpfen die 50 Hz wie gefordert, doch bietet das Tschebyscheff-Filter den größten Nutz-Frequenzbereich, innerhalb dessen mit maximal  $\pm 0,5 \text{ dB}$  Amplitudenfehler gemessen werden kann: DC bis 20,2 Hz.

*Weil die Wahl der idealen Charakteristik und Eckfrequenz trotz aller Theorie gelegentlich nicht eindeutig zu treffen ist, bietet das TS-Tiefpass-Modul vier unabhängige Einstellmöglichkeiten, die individuell in Charakteristik und Eckfrequenz ausgelegt werden.*

## So dimensionieren Sie TS-Hochpässe:

Diese Zusammenstellung über Hochpassfilter zeigt **Abbildungen von Filtern 4. Ordnung**. TSHP sind lieferbar in 2., 4., 6. und 8. Ordnung, entsprechende Diagramme und Kennwerte stellt IMD gerne zur Verfügung.

Weil bei einem Hochpassfilter die Oberwellen eines Signals deutlich im Durchlassbereich und damit im Bereich des linearen Phasenverlaufs liegen, sofern schon die Grundschwingung in den Durchlassbereich oder den Bereich geringer Dämpfung fällt, erfordert selbst ein Rechteck-Nutzsignal keine Bessel-Charakteristik. Nichtsdestotrotz sind Bessel-Hochpässe für Spezialanwendungen sowohl mathematisch

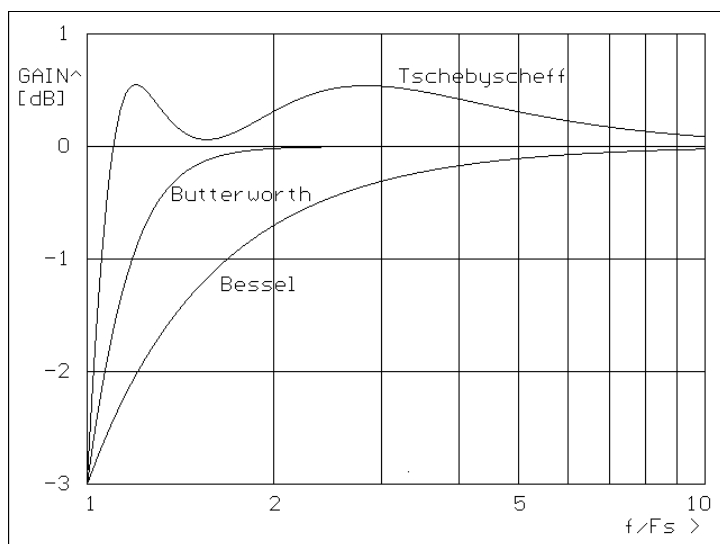


Abb. 9 - Amplitudengang Durchlassbereich

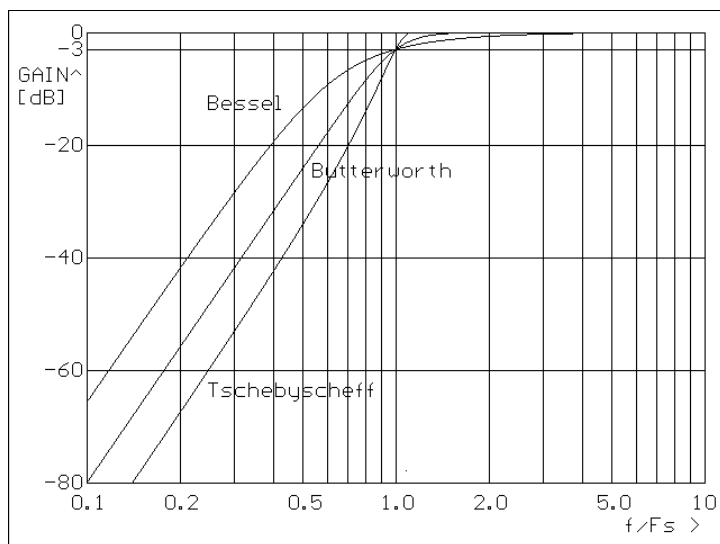


Abb. 10 - Amplitudengang

Kehrwert der normierten Frequenz gerechnet wird. Die logarithmischen Diagramme erscheinen an der Stelle '1' der X-Achse (normierte Frequenzachse) gespiegelt. Aus einem normierten Tiefpass-Diagramm herausgelesene Werte (Frequenzen) sind die Kehrwerte ( $1/x$ ) der korrespondierenden normierten Hochpass-Frequenzen.

wie auch technisch innerhalb der Serie TS zu realisieren.

In allen anderen Fällen stellt sich nur die Frage zwischen Butterworth- und Tschebyscheff-Charakteristik, mit der schon in der Zusammenstellung über Tiefpassfilter diskutierten Entscheidung zwischen der Steilheit des Übergangs vom Dämpfungszum Durchlassbereich und der Durchlasswelligkeit.

Zur Festlegung der **Filter-Eckfrequenz** gibt es die bekannten beiden einfachen Ansätze:

1. Man setzt im Durchlassbereich einen in der Anwendung tolerierbaren Amplitudenfehler fest und liest die zugehörige normierte Frequenz in Abbildung 9 von der x-Achse ab.
2. Man setzt im Sperrbereich eine in der Anwendung erforderliche Mindestdämpfung fest und liest die zugehörige Frequenz in Abbildung 10 von der x-Achse ab.

Hochpässe lassen sich übrigens von Tiefpässen ableiten, indem im Frequenzbereich mit dem

## So dimensionieren Sie TS-Bandpässe:

Im folgenden Abschnitt ist wieder zu beachten, dass alle Frequenzangaben auf 1 normiert sind.

Grundsätzlich unterscheidet man Mittenbandpässe und Breitbandpässe.

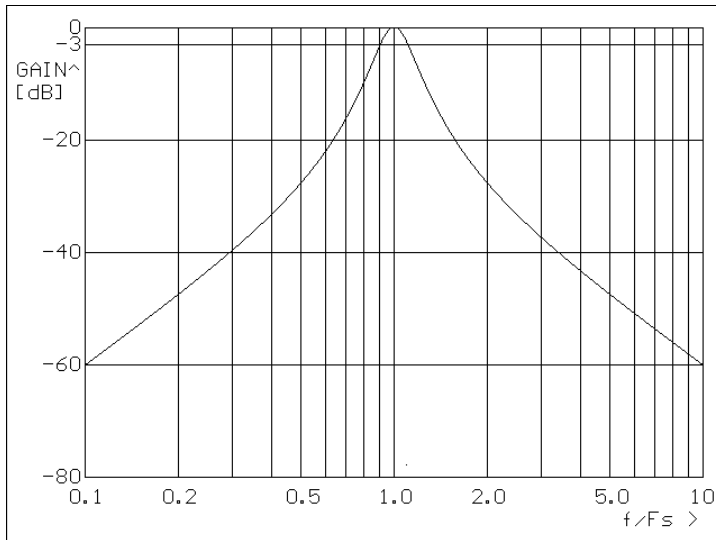


Abb. 11 - Mittenbandpass, Güte  $Q = 5$

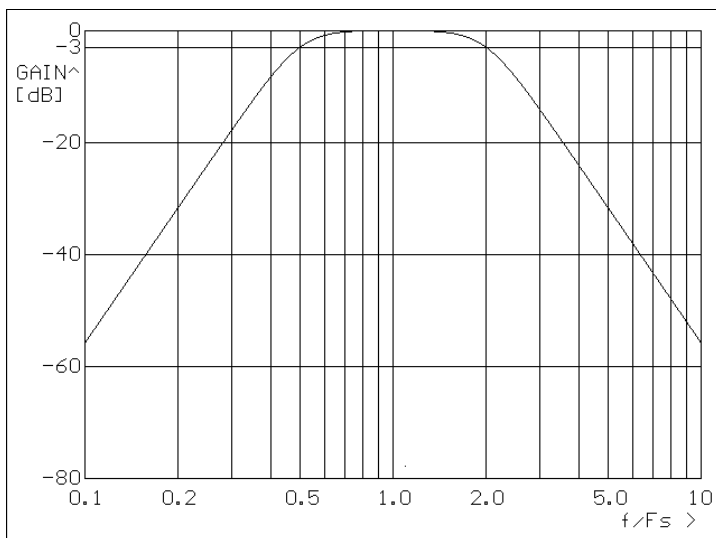


Abb. 12 - Breitbandpass, Güte  $Q = 0,67$

Erstere sind ziemlich schmalbandig, sie haben genau eine definierte Mitten- oder Durchlassfrequenz, bei der die Dämpfung 0 dB beträgt. Die Entfernung der beiden -3 dB-Punkte unter- und oberhalb der Mittenfrequenz voneinander ist die Bandbreite (in Hz); Mittenfrequenz geteilt durch Bandbreite ergibt die Güte (dimensionslos). Mittenbandpässe der Serie TS sind je nach Ordnung mit einer Güte von bis zu 12 lieferbar.

Abbildung 11 zeigt einen Bandpass 4. Ordnung mit einer Bandbreite von  $\Delta = 0,2$  (von 0,9 bis 1,1) um die Mittenfrequenz 1. Die Güte ist also  $1 / 0,2 = 5$ .

Während der Dämpfungsverlauf in der Umgebung der Mittenfrequenz im Wesentlichen durch die Güte bestimmt wird, hängt der weitere Verlauf der Dämpfung fernab der Mittenfrequenz fast nur von der Ordnung des Mittenbandpasses ab. Je höher die Ordnung, um so größer ist die verbleibende Steilheit im Außenbereich.

Breitbandpässe setzen sich aus einem Hoch- und einem Tiefpassfilter zusammen. Daher kann eine untere und eine obere Eckfrequenz definiert werden, was den Bandpass beliebig breitbandig macht. Das Verhältnis von unterer zu oberer Eckfrequenz sollte für Teilfilter 4. Ordnung mindestens 1:4 sein ( $Q_{\max} = 0,67$ ), bei Teilfiltern 8. Ordnung reicht ein Verhältnis von 1:2 ( $Q_{\max} = 1,41$ ), um eine Durchlassdämpfung von nahezu 0 dB zu erreichen. Abbildung 12 zeigt einen Breitbandpass, der aus einem Butterworth-Hochpass 4. Ordnung mit der Frequenz 0,5 und einem ebensolchen Tiefpass der Frequenz 2 zusammengesetzt ist. Die Bandbreite ist 1,5, die Güte ist hier  $1 / 1,5 = 0,67$ .

Wenn man die Übertragungsfunktion eines Breitbandpasses mit Hoch- und Tiefpassflanke je 8. Ordnung ausmultipliziert, erhält man ein Polynom 16. Grades. In diesem Sinne hat man also ein Bandpassfilter 16. Ordnung vorliegen.

## Zeitkonstanten zur Effektivwertbildung (RMS):

Der Effektivwert eines Signals ist ein Äquivalent für seine Leistung bzw. Energie. Daher kann er eine Aussage über Materialbelastung sowie über die physiologische Wirkung auf Mensch und Tier geben. Mit einem vorgeschalteten Filter - in der Serie TS stehen dazu Tief-, Hoch- und Bandpässe bereit - wird dabei erforderlichenfalls die Empfindlichkeit des Messobjektes gegenüber verschiedener Frequenzen nachgebildet.

Der Effektivwert eines Signals wird immer über einen Zeitraum bestimmt, das unterscheidet ihn vom Momentanwert. Maßgeblich für den Erfolg der Effektivwertbildung ist die Zeitkonstante  $\tau$  des Konverters. Diese muss auf die Anwendung abgestimmt werden:

Bei einem Signal, das im Wesentlichen gleichmäßig verläuft und nur gelegentlich Spitzen aufweist, gibt die Integrationszeitkonstante quasi an, über welchen Zeitraum die Energie dieser Spitzen verteilt werden soll.

Abbildungen 13-16 zeigen exemplarisch Verläufe für ein periodisches 917 Hz-Signal mit wechselnder Amplitude.

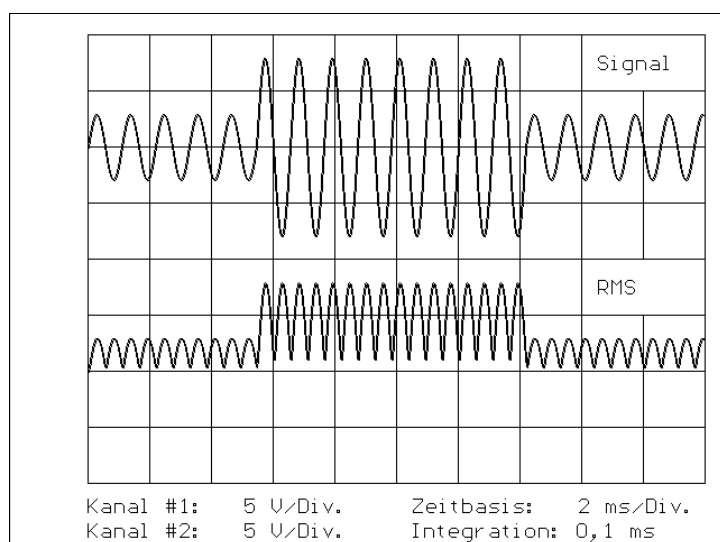


Abb. 13 - zu kurze Integrationszeit

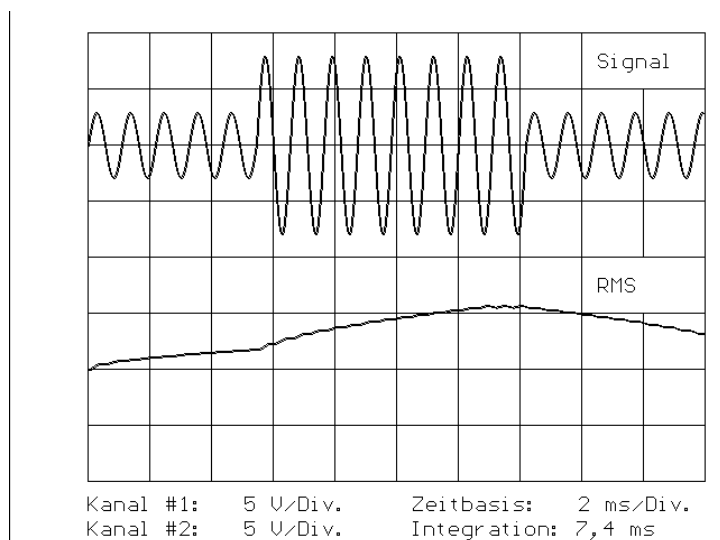


Abb. 14 - zu lange Integrationszeit

Ein zu schnell ausgelegter RMS-Konverter - sehr kurze Integrationszeit  $\tau$  - bildet von einem sich relativ langsam ändernden Signal lediglich den Betrag des Momentanwertes:  $\sqrt{(U^2)} = |U|$ . Abbildung 13 zeigt, wie am Ausgang im Wesentlichen nur der Betrag des Eingangssignals vorliegt und der Gleichanteil (RMS-Wert) durch die Integration viel zu klein ist. Das Ausgangssignal ist unbrauchbar.

Ein zu langsam ausgelegter RMS-Konverter - sehr lange Integrationszeit  $\tau$  - hinkt einem Signal mit sich schnell änderndem Effektivwert hinterher, der berechnete Wert ist zunächst stark fehlerbehaftet (Abbildung 14). Wenn die nächste Änderung des Effektivwertes zu früh kommt, wird ein ausreichend genauer Messwert möglicherweise überhaupt nicht erreicht. Ein Konverter mit noch größerer Zeitkonstante würde in Abb. 14 der Abschnitt größerer Amplitude völlig ausmitteln.

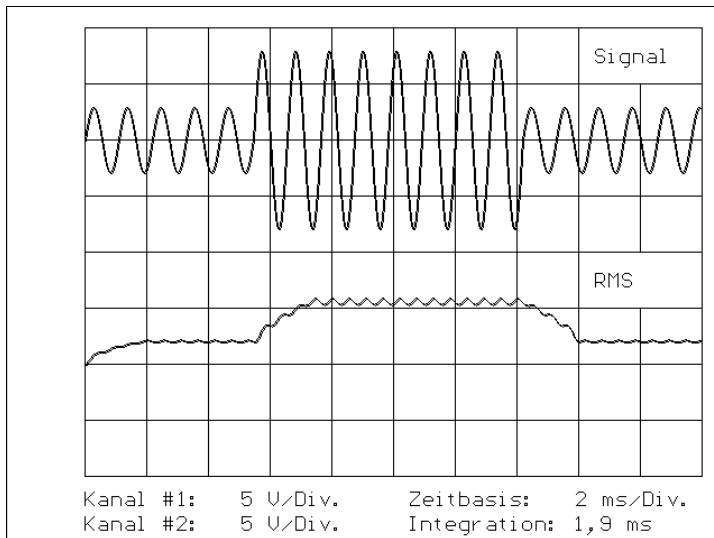


Abb. 15 - passende Integrationszeit

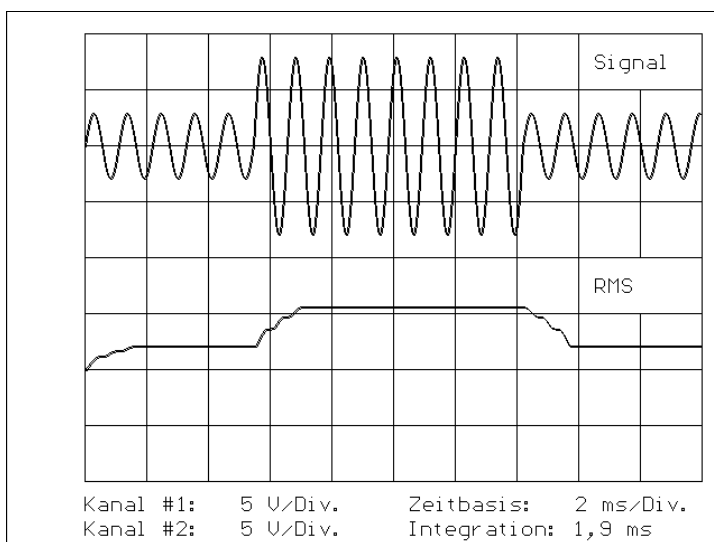


Abb. 16 - passende Integrationszeit, optimiert

Wenn die Integrationszeitkonstante des RMS-Konverters gut auf die Anwendung abgestimmt ist, folgt das Ausgangssignal zügig einem Wechsel des Effektivwertes am Eingang, ohne jeder kleinen Signaländerung allzuweit nachzulaufen.

Bis der RMS-Konverter in Abbildung 15 erkennt, ob eine Eingangsänderung am Sinusverlauf oder an einer Amplitudenänderung liegt, folgt er dem Verlauf immer ein Stück weit. Daher weist der Ausgang eine Restwelligkeit (Ripple) auf.

Ansprechzeit, Ripple und Fehler des RMS-Wertes (Gleichanteil der Ausgangsspannung) sind voneinander abhängig. Für jede Anwendung ist zu überlegen, welcher der drei Kennwerte besonders wichtig oder nachrangig ist. Beispielsweise tritt Ripple nur bei periodischen Signalen auf.

Abbildung 16 zeigt eine Dimensionierung, die für ein 917 Hz-Signal ein **Ripple** von maximal -40 dB zulässt.

Die Kriterien **Ansprech- oder Einschwingzeit** und **Fehler** können anhand eines Sprungs des Eingangssignals von 0 V auf z. B. +10 V gut verdeutlicht werden:

Unzweifelhaft hat eine Gleichspannung von 0 V den Effektivwert 0 V, +10 V hat den Effektivwert +10 V. Der Effektivwertbildner benötigt eine Zeit von dreimal der Zeitkonstanten  $\tau$ , um diesem Sprung auf 95 % nachzuvollziehen und im Beispiel +9,5 V am Ausgang zu erreichen (für 99 % werden 4,6 Zeitkonstanten benötigt).

Umgekehrt bedeutet das übrigens, dass 95 % des Ausgangssignals aus den letzten  $3 * \tau$  resultieren, länger zurückliegende Ereignisse sind 'verblasst'.

Die **Genauigkeit** für ein **periodisches** Signal hängt von dessen Frequenz und der Zeitkonstanten des Konverters ab. Der Effekt des Ripples zeigt, dass der Einschwingvorgang auf den Effektivwert nie abgeschlossen ist (man muss nur genau genug hinsehen) und somit das Ausgangssignal einen Fehler haben muss. Allerdings kann für eine Nennfrequenz die Obergrenze für Ripple oder Fehler festgelegt werden, entsprechend wird dann die Zeitkonstante  $\tau$  dimensioniert.

Als Richtwert sollte  $\tau$  für ein periodisches, sinusähnliches Signal, das seinen Effektivwert im Vergleich zur Periodendauer nur langsam ändert, mindestens die Dauer von 10 Perioden haben, z. B. für ein 50 Hz-Signal etwa 200 ms.

*Weil die ideale Zeitkonstante  $\tau$  nach den verschiedenen Kriterien variiert, haben RMS-Module der Serie TS bis zu drei frei wählbare Zeitkonstanten zum Umschalten.*



# Bestellinfos für Module der Serie TS:

Mehr Informationen über

- Eigenschaften der verschiedenen Filtercharakteristiken
- RMS-DC-Konvertierung und ihre Zeitkonstante
- Mittenbandpässe, Breitbandpässe
- Trennverstärker
- PT1000-Verstärker
- sonstige Module

stehen unter [www.imd-gmbh.de](http://www.imd-gmbh.de) bereit bzw. können gerne bei Hersteller oder Vertrieb angefordert werden.

## 1. Ein- und Ausgangssignal

Module der Serie TS sind im Allgemeinen für massebezogene Spannungssignale im Bereich  $\pm 10$  V und Stromsignale im Bereich 0-20 mA lieferbar; Ein- und Ausgangsbereich sind gleich. Die gewünschte Signalart ist bei der Bestellung anzufügen.

Die meisten Module können auch mit individuell angepasstem Signalbereich (Eingang und / oder Ausgang) geliefert werden, oft ohne Änderung an Preis und Lieferzeit. Einfach beim Hersteller oder Vertrieb anfragen.

Beispiele: '10 V' oder '20 mA' oder 'Wunschbereich'

## 2. Bedienung

Module mit umschaltbaren Funktionen haben von außen zugängliche Kipp- oder Drehschalter. Eine Leuchtdiode zeigt die Betriebsbereitschaft an.

## 3. Versorgung

Verschiedene, im Kapitel "Technische Daten" ausführlich beschriebene Varianten der Hilfsversorgung sind verfügbar. Die gewünschte Art ist bei der Bestellung anzufügen.

Beispiele: '+24V', '+15V', '+12V', 'KFZ', '+5V' oder '+18-32V'

## Infos zu Tief- und Hochpassmodulen

Bestellschlüssel: TSTP = Tiefpass, TSHP = Hochpass

*TS...P\_Ordnung\_freq1[...4]\_Signal\_Versorgung\_[ISO]\_[RMS\_tau1...3]*

Bestellbeispiel: TSTP\_4.Ord.\_120BU\_100BE\_10V\_+24V\_ISO

Ein- und Ausgangssignal:  $\pm 10$  V, 0-20 mA & individuell angepasst lieferbar

### 1. Tief- und Hochpässe mit **einer** Grenzfrequenz und Bypass

Prinzipiell 8. Ordnung, auf Wunsch auch in 6., 4. und 2. Ordnung lieferbar. Diese Filter sind innerhalb des Gehäuses ab Werk mit folgenden Funktionen kombinierbar:

- galvanische Trennung (-ISO)
- Effektivwertermittlung (-RMS)

### 2. Tief- und Hochpässe mit **2 bis 4** Grenzfrequenzen **2./4. Ordnung** und Bypass

Prinzipiell 4. Ordnung, auf Wunsch auch in 2. Ordnung lieferbar. Diese Filter sind innerhalb des Gehäuses ab Werk mit folgenden Funktionen kombinierbar:

- galvanische Trennung (-ISO)
- Effektivwertermittlung (-RMS)

3. Tief- und Hochpässe mit **2 bis 4** Grenzfrequenzen **6./8. Ordnung** und Bypass  
Prinzipiell 8. Ordnung, auf Wunsch auch in 6. Ordnung lieferbar. Diese Filter sind innerhalb des Gehäuses nicht mit weiteren Funktionen kombinierbar.

Angabe der gewünschten Grenzfrequenzen *freq* bis maximal 4 je nach Typ

Die Frequenz ist in Hz anzugeben, gefolgt von einem Kürzel für die Charakteristik dieser Eckfrequenz. Für jede Eckfrequenz kann individuell eine eigene Charakteristik gewählt werden. Beispiel:

'123BU' → 123 Hz als -3 dB-Eckfrequenz, Butterworth-Charakteristik  
'123 Hz Bu' ist genauso gültig

Kürzel der verfügbaren Charakteristiken:

BE - Bessel, BU - Butterworth  
TS - Tschebyscheff mit 0,5 dB Welligkeit im Durchlassbereich

Angabe der bis zu drei Zeitkonstanten *tau1* bis max. 3 für die RMS-DC-Funktion

Wie im Kapitel "Zeitkonstanten zur Effektivwertbildung" beschrieben ist entweder die Zeitkonstante festzulegen und bei der Bestellung in Millisekunden anzugeben,

Beispiel: '500' → Zeitkonstante 500 ms  
'500 ms' ist genauso gültig

oder die Ripplegrenze oder der tolerierbare Fehler für eine bestimmte Frequenz:

Beispiel: '500 Hz, Ripple < -40 dB' (bezogen auf den Eingangsbereich)  
'500 Hz, Fehler < 0,5 %' (bezogen auf Vollaussteuerung)

## Infos zu Mittenbandpassmodulen

Bestellschlüssel: TSBP = Bandpass

*TSBP\_Ordnung\_freq\_Güte\_Signal\_Versorgung\_[ISO]\_[RMS\_tau1...3]*

Bestellbeispiel: TSBP\_4.Ord.\_120Hz\_Güte 8\_20mA\_+24V

Ein- und Ausgangssignal: ±10 V, 0-20 mA & individuell angepasst lieferbar

### 1. Mittenbandpässe 2./4. Ordnung

Prinzipiell 4. Ordnung, auf Wunsch auch in 2. Ordnung lieferbar. Diese Filter sind innerhalb des Gehäuses ab Werk mit folgenden Funktionen kombinierbar:

- galvanischer Trennung (-ISO)
- Effektivwertermittlung (-RMS-DC)

### 2. Mittenbandpässe 6./8. Ordnung

Prinzipiell 8. Ordnung, auf Wunsch auch in 6. Ordnung lieferbar. Diese Filter sind innerhalb des Gehäuses nicht mit weiteren Funktionen kombinierbar.

Angabe der gewünschten Durchlassfrequenz *freq* und Güte *güte*

Die Mitten- oder Durchlassfrequenz wird wie bei Tief- und Hochpassmodulen angegeben, statt der Charakteristik wird hier die Güte hinzugefügt. Die maximal mögliche Güte hängt von der Ordnung des Mittenbandpasses ab:

2. Ordnung maximal lieferbare Güte ist 5  
4. Ordnung maximal lieferbare Güte ist 8  
6. Ordnung maximal lieferbare Güte ist 10  
8. Ordnung maximal lieferbare Güte ist 12

Beispiel: '120-8' → Mittenfrequenz 120 Hz, Güte 8, die Bandbreite errechnet sich zu 15 Hz  
'120 Hz Güte 8' ist genauso gültig

Angabe der bis zu drei Zeitkonstanten  $\tau_{1-3}$  für die RMS-DC-Funktion  
Wie bei Tief- / Hochpassmodulen.

## Infos zu Breitbandpassmodulen

Bestellschlüssel: H = Hochpassbaugruppe, T = Tiefpassbaugruppe

*TSBP\_(H\_Ordnung\_freq1[...4])\_(T\_Ordnung\_freq1[...4])\_Signal\_Versorgung*

Bestellbeispiel:

*TSBP\_(H\_4.Ord.\_120BU\_100BE)\_(T\_8.Ord.\_500BU)\_10V\_+24V*

Breitbandpässe sind aus einem Hoch- und einem Tiefpass der Serie TS zusammengesetzt. Dadurch ergeben sich viele Möglichkeiten, z. B. ein Bandpass 16. Ordnung mit fester Bandbreite oder ein Filter 8. Ordnung mit 16 einstellbaren Bandbreiten.

Ein- und Ausgangssignal:  $\pm 10$  V, 0-20 mA & individuell angepasst lieferbar

Hochpassflanke (untere Durchlassbandgrenze)

Entweder eine feste Frequenz 8., 6., 4. oder 2. Ordnung, oder bis zu 4 Frequenzen zum Umschalten 4. oder 2. Ordnung. Festlegung von Frequenz, Ordnung und Charakteristik wie bei Hochpassmodulen.

Tiefpassflanke (obere Durchlassbandgrenze)

Entweder eine feste Frequenz 8., 6., 4. oder 2. Ordnung, oder bis zu 4 Frequenzen zum Umschalten 4. oder 2. Ordnung. Festlegung von Frequenz, Ordnung und Charakteristik wie bei Tiefpassmodulen.

Breitbandpässe sind innerhalb des Gehäuses nicht mit weiteren Funktionen kombinierbar.

## Infos zu Trennverstärkern

Bestellschlüssel: *TSISO\_Signal\_Versorgung*

Ein- und Ausgangssignal:  $\pm 10$  V, 0-20 mA & individuell angepasst lieferbar

Bandbreite, Trennspannung

Die -3 dB-Bandbreite beträgt 25 kHz, kann aber ab Werk auf Wunsch reduziert werden, um Rauschen und Aliasing-Effekte zu minimieren. Unter geringer Beeinträchtigung der Rauschwerte kann der Trennverstärker auch mit offener Bandbreite (>50 kHz) geliefert werden. Die Trennspannung ist 500 V.

Die interne Trennbaugruppe kommt auch in Kombination mit diversen Tief-, Hoch- und Mittenbandpassfiltern zum Einsatz, s. Infos zu den Filtern.

## Infos zu PT-1000-Verstärkern

Bestellschlüssel: *TSPT1000\_Temperaturbereich\_Signal\_Versorgung*

Diese Module sind zum Betrieb in Dreileitertechnik mit industrietüblichen PT 1000-Sensoren (TK = 3850 ppm/K) bestimmt. Sie sind innerhalb des Gehäuses nicht mit weiteren Funktionen kombinierbar.

### Messbereich

Der Messbereich nach Wunsch sollte aus Gründen der Aussteuerung und Linearität nicht viel größer als wirklich erforderlich gewählt werden. Der gewünschte Bereich ist bei Bestellung im Klartext anzugeben und sollte innerhalb -100 °C und +500 °C liegen.

Beispiel: '-50 °C...+100 °C'

### Ausgangssignal

Der Ausgang ist unipolar (0...+10 V), bipolar ( $\pm 10$  V) und als Stromausgang (0-20 mA) lieferbar. Das kleinste Ausgangssignal entspricht dem unteren gewünschten Temperaturwert, das größte dem oberen Eckwert. Die gewünschte Signalart ist bei der Bestellung anzufügen. Beispiele: '0...10V', ' $\pm 10$ V' oder '20mA'

### Bandbreite

Die Standard-Bandbreite ist 100 Hz, so wird auch ein schneller Temperaturverlauf gut aufgelöst. Bei einer Überwachungsmessung kann ein Problem schon im Ansatz (<20 ms) erkannt werden, lange bevor es zu einem Schaden kommen kann. Bei der sonst üblichen Bandbreite von 4 Hz können die ca. 500 ms zu lange sein.

Zur Rauschreduzierung kann die Bandbreite ab Werk auf bis zu 4 Hz begrenzt werden.

### Galvanische Trennung

Das TS-PT1000-Modul misst erdfrei, Sensor und Eingangsstufe sind zur Vermeidung von Erdschleifen von Versorgung und Ausgang galvanisch getrennt bis 500 V.

## Infos zu sonstigen Modulen

**Addierer / Subtrahierer - TSAD... / Multiplizierer - TSMP...**

Bestellschlüssel: *TSAD / TSMP\_Versorgung*

### Ein- und Ausgangssignale

Diese Module sind nur mit Differenzeingang für Spannungssignale von  $\pm 10$  V lieferbar. Der Ausgangsbereich ist ebenfalls  $\pm 10$  V.

### Normierung

Weil die Addition von z. B. +10 V und +10 V theoretisch +20 V ergibt - was den Ausgangsbereich überschreiten würde - wird das Ergebnis normiert, indem es bei Summierer / Subtrahierer halbiert wird. Es gilt:

$$U_{\text{Aus}} = 1/2 * (U_{\text{Ein1}} + U_{\text{Ein2}}) \quad \text{bzw.} \quad U_{\text{Aus}} = 1/2 * (U_{\text{Ein1}} - U_{\text{Ein2}})$$

Analog dazu ergibt die Multiplikation von z. B. +10 V mit +10 V theoretisch +100 V, daher wird das Ergebnis beim Multiplizierer durch 10 geteilt:

$$U_{\text{Aus}} = (U_{\text{Ein1}} * U_{\text{Ein2}}) / 10$$

TSAD und TSMP sind innerhalb des Gehäuses nicht mit weiteren Funktionen kombinierbar.

### **Präzisionsgleichrichter**

Bestellschlüssel: *TSPGL\_Versorgung*

#### Ein- und Ausgangssignale

Dieses Modul ist nur für Spannungssignale von  $\pm 10$  V lieferbar. Der Ausgangsbereich ist dementsprechend 0...10 V.

#### Zusatzfunktionen

Die PGL-Baugruppe kann auf Anfrage innerhalb des Gehäuses ab Werk mit weiteren Funktionen der Serie TS kombiniert werden.

### **4 mA-Konstantstromquelle mit AC-Auskopplung**

Bestellschlüssel: *TSIC\_Versorgung*

#### Ein- und Ausgangssignale

Diese Konstantstromquelle kann 4 mA an einer Last von 0  $\Omega$  bis 6250  $\Omega$  treiben, entsprechend ist die Spannung am Sensor 0 V bis +25 V. Es können z. B. ICP®-Sensoren betrieben werden. Im Leerlauf (0 mA Last) erreicht die Sensorspeisung ca. +30 V.

Die vom Sensor aufmodulierte Wechselspannung wird AC-ausgekoppelt und steht unmittelbar am Ausgang zur Verfügung, der Ausgangsbereich entspricht dem des Sensors.

Die Zeitkonstante  $\tau = R \cdot C$  der AC-Auskopplung beträgt ca. 50 s, der interne Widerstand von 10 M $\Omega$  kann durch einen extern parallel geschalteten Widerstand (A+ gegen GND) beliebig verringert werden.

#### Zusatzfunktionen

Dieses Modul kann auf Anfrage innerhalb des Gehäuses ab Werk mit weiteren Funktionen der Serie TS kombiniert werden.

### **Anschlusseinheiten**

Bestellschlüssel: *TSBNC / TS4MM*

*TSCC\_Wunsch-Steckverbinder\_Wunsch-Belegung*

Verschiedene passive Anschlusseinheiten erleichtern den Zugriff auf Mess-, Test- und Diagnosepunkte Ihrer elektrischen Anlage:

- TSBNC zwei potentialfreie BNC-Buchsen
- TS4mm zwei potentialfreie 4 mm-Sicherheitsbuchsen (für Bananenstecker) im Normabstand 19,05 mm, 2 Schraubklemmen je Buchse
- TSCC 'custom connector' - Steckverbinder nach Wunsch mit bis zu 6 beschaltbaren Pins bei 17 mm Modulbreite, 12 Pins bei 35 mm Breite, maximal 25 Pins bei 71 mm Breite

## Signalkonditionierung - selbst machen oder kaufen - make or buy?

Natürlich stellt sich (bzw. der Einkauf) die Frage, ob man Module zur Signalkonditionierung nicht selbst machen kann. Hier gilt wie überall im Leben: Es dauert schnell länger, als man denkt. Vorteilhaft ist, wenn man weiss, dass es so etwas wie z. B. ein Filter überhaupt gibt. Dann geht's los:

Tag	IMD	Eigenbau
1	15 Minuten für Anfrage bei IMD. Unterlagen aus Fax oder Internet durchsehen, eventuell noch einmal nachfragen und das ideale Filter als individuell gefertigtes Modul zum Festpreis ordern.	Fachliteratur organisieren. 1-2 Stunden Lektüre, bis man die Theorie überblickt. Allerdings fehlen Erfahrungswerte für die Wahl von Filterordnung, Charakteristik und sinnvolle Eckfrequenz. Ein Matheprogramm liefert dem Eingearbeiteten relativ schnell Frequenzgangdiagramme zum Vergleich, der Anfänger wird eher den Rest des Tages mit dem Programm kämpfen.
2	IMD fertigt & testet (burn-in)	Entscheidung: Drahtverhau auf Lochraster oder ein-, besser zweiseitige Leiterplatte? Schaltplan incl. Peripherie (Spannungsversorgung, Ein- und Ausgangsstufe, Anschlusstechnik usw.) zeichnen, Bauteilstückliste erstellen, Bauteilkataloge wälzen, bestellen. Ggf. Leiterplattenlayoutarbeiten
3	IMD testet & versendet	Ggf. Layout kurz vor Annahmeschluss zum LP-Eildienst geben. Erste Bauteile treffen ein.
4	Modul trifft ein. Auspacken, anschließen, läuft.	Weitere Bauteile kommen, ggf. mit Lochrasterlösung anfangen.
5	Lob vom Boss	Die letzten Bauteile kommen nicht, woanders neu bestellen. Ansonsten weiterlöten.
6-7		Warten auf Bauteile.
8-9		Die letzten Bauteile kommen. Lochrasterlösung fertiglöten. Läuft nach Fehlersuche, wenn auch mit Schaltspikes aus Stromversorgung. Daten für Genauigkeit, Rauschen und Sperrdämpfung erreichen theoretische Werte nicht wirklich. Der Anhänger der Layoutlösung erhält endlich sein Werk und beginnt mit dem Löten.

Der Vergleich zeigt, dass die Eigenbau-Lösung schon eine Woche länger dauert, wenn alles gut läuft. Zeit ist Geld, Bauteile aus der Eil-Apotheke und der Leiterplatteneildienst haben auch ihren Preis. Dazu hat Eigenbau keine Garantie, aber immer die Gefahr eines Flüchtigkeitsfehlers.

IMD fertigt individuelle Einzelstücke auf Basis vorbereiteter und erprobter Serienmodule, die im Allgemeinen innerhalb zwei Tagen entsprechend der Kundenbestellung mit Bauteilen höchster Genauigkeit komplettiert werden. Auch als Einzelstück und zu einem Preis, zu dem der Anwender nicht selbst entwickeln und fertigen kann. Inclusive eingehender Beratung durch einen erfahrenen IMD- oder Vertriebsingenieur.

# Abmessungen

eines Standard-Moduls der Serie TS

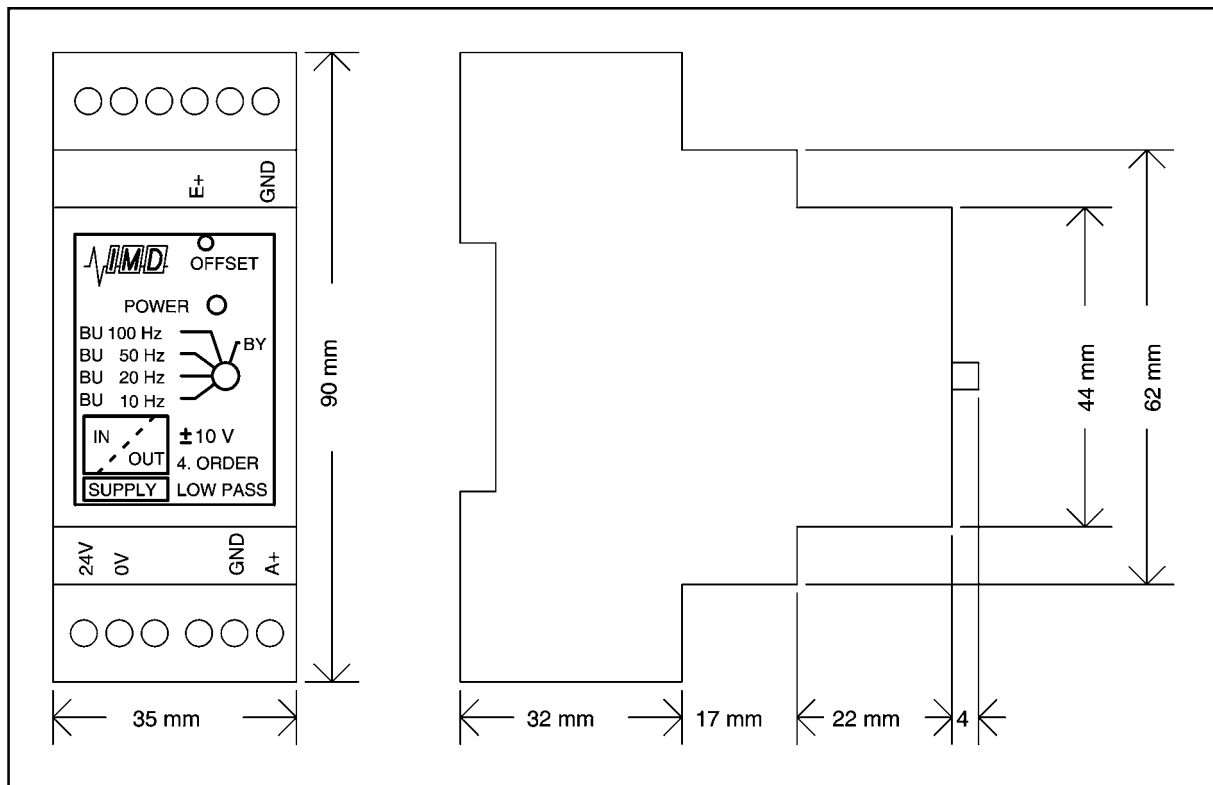


Abbildung 17 - Abmessungen

- Notizen -



Die Serie TS gibt's bei:

Technische Änderungen, Irrtümer und Fehler vorbehalten  
ICP®: Eingetragenes Warenzeichen der PCB Piezotronics Inc.

© 2002 IMD Ingenieurbüro GmbH, Kreuztal