

# ... in Richtung Sonnenaufgang

## Neue Horizonte in der Trägerfrequenztechnik

Lange Zeit galt die Trägerfrequenztechnik beim Messen von mechanischen Größen mit DMS-Aufnehmern als das non plus ultra. Doch dezentrale Strukturen und damit die räumliche Nähe der Verstärker zum Sensor sowie Instrumentationsverstärker mit besseren technischen Daten drängten scheinbar das bewährte Trägerfrequenzprinzip etwas in den Hintergrund. Heute machen neue Schaltungsprinzipien, moderne Bauelemente und innovative Entwicklungsleistungen Trägerfrequenzverstärker zur hochwertigen, stabilen und vor allem auch preiswerten Alternative zu den DC-Systemen.

### TF oder DC – es gibt zwingende Kriterien

Für das Messen mechanischer Größen mittels Trägerfrequenz (TF)- oder Gleichspannungsverstärkern gibt es MUSS- und SOLL-Kriterien.

Zu den MUSS-Kriterien zählt das Sensorprinzip. In Prüfeinrichtungen werden DMS-Sensoren, induktive Sensoren (LVDT, Differentialdrossel), piezoresistive Aufnehmer, aktive Aufnehmer (5 V / 20 mA), potentiometrische Aufnehmer usw. eingesetzt. Induktive und kapazitive Aufnehmer können ausschließlich mit Trägerfrequenzverstärkern betrieben werden, es sei denn, es ist bereits eine aktive Elektronik (Modulator/Demodulator) integriert. Aktive Aufnehmer, wie z.B. Drucktransmitter mit einem Ausgangssignal von 4...20 mA, lassen sich nur über DC-Systeme erfassen.

Die SOLL-Kriterien beeinträchtigen zwar nicht die prinzipielle Funktion, sind aber zu beachten, um zuverlässige und gute Messresultate zu erzielen. Die Trägerfrequenztechnik bietet hierbei bedeutsame, prinzipbedingte Vorteile:

### 1. Trägerfrequenzprinzip

Passive Sensoren benötigen eine Speisung, um überhaupt ein der Messgröße proportionales Signal abgeben zu können. Deshalb wird beispielsweise auch die Empfindlichkeit von DMS-Aufnehmern mit 2 mV pro V (Speisespannung) angegeben. Beim Trägerfrequenzprinzip ist diese Aufnehmerspeisung eine Wechselspannung von z.B. 4,8 kHz. Die Messgröße, z.B. eine Kraft, moduliert in der Brückenschaltung die Amplitude dieser Wechselspannung und nutzt sie als Träger. Das Signal, das vom Sensor an den Messverstärker übertragen wird, ist ebenfalls eine Wechselspannung mit einer Mittenfrequenz von 4,8 kHz. Sie beinhaltet die Information der Messgröße in der Amplitude und in der Phasenlage. Der Messverstärker ist als reiner AC-Verstärker aufgebaut. Gleichspannungsan-

teile werden kapazitiv entkoppelt und Signale nur selektiv im Bereich von 4,8 kHz  $\pm$  Bandbreite übertragen. Die Demodulation generiert ein Messsignal, welches identisch mit der zu messenden Größe ist. In Abbildung 1 sind diese Zusammenhänge dargestellt.

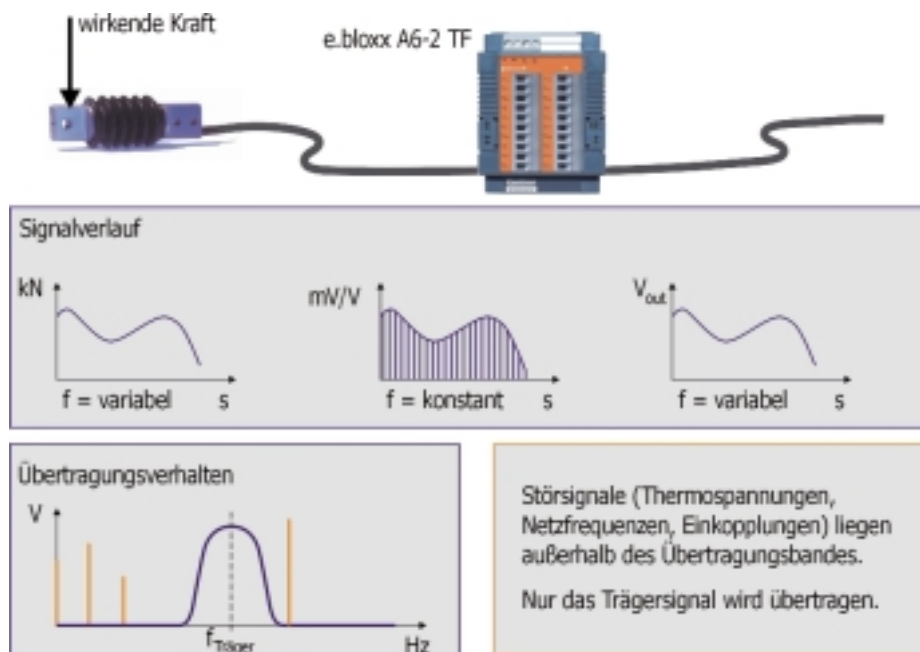
### Unempfindlich gegenüber Störungen

Bedingt durch das selektive Übertragungsverhalten sind bei TF-Verstärkern Störsignale, wie sie von elektrischen Leistungsschaltkreisen oder von Netzspannungen und deren Oberwellen generiert werden, ohne Wirkung auf das Messsignal. Die Bandpass-Charakteristik grenzt alle unerwünschten Signalfrequenzen aus. Induktiv eingekoppelte Störspitzen sind besonders unangenehm, denn sie werden bei der statischen, also stark gefilterten, Betrachtung des Messsignals nicht erkannt und ändern sich schon durch geringfügig geänderte Kabelführungen. So muss z.B. bei Gleiskörpern sowohl mit Potentialverschleppungen als auch mit stark gestörten

Umgebungen gerechnet werden. Daher werden dort prinzipiell Trägerfrequenzsysteme bevorzugt.

Weitere Störfaktoren entstehen an Klemmübergängen und Steckern durch das Zusammentreffen von verschiedenen Materialien (Kupfer, Lot, Gold, verschiedene Legierungen). Die Materialpaare bilden Thermospannungen, die je nach Umgebungstemperatur durchaus im Bereich  $> 10\%$  der doch sehr kleinen Signalspannungen liegen können. Diese parasitären Spannungen stellen sich wie eine Nullpunktdrift dar und sind bei der Inbetriebnahme nicht einfach erkennbar. Trägerfrequenzverstärker übertragen keine Gleichspannungen und sind daher absolut unempfindlich gegenüber Thermospannungen.

Diese wirklich bewährten Vorteile der Trägerfrequenztechnik sind in Datenblättern schwer darzustellen, leuchten aber ein. Unter rauen und verseuchten Umgebungsbedingungen werden DC-Systeme nicht grundlos häufig kategorisch abgelehnt.



## Genauigkeit und Stabilität

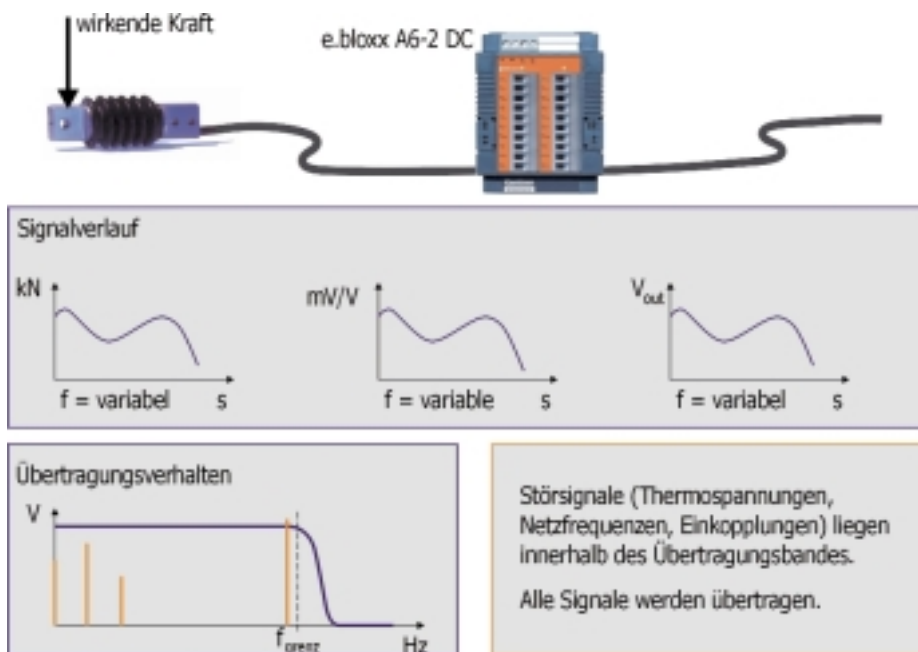
Die genauesten und signalstabilsten Messsysteme für DMS-Aufnehmer sind Trägerfrequenzsysteme. Die PTB als auch die industriellen und öffentlichen Kalibrierstellen nutzen deshalb die TF-Technik, aber auch Standardapplikationen profitieren von den besseren Eigenschaften.

Bei Trägerfrequenzverstärkern bleibt die Bauteildrift der hochverstärkenden Eingangsstufe ohne Einfluss, denn lediglich die Verstärkerstufen nach dem Demodulator wirken sich mit ihrer Drift auf das Messergebnis aus. Durch die geringe Verstärkung dieser Stufen ist das gesamte Driftverhalten eines TF-Verstärkers ca. um Faktor 10 besser als das eines vergleichbaren DC-Verstärkers.

Ebenfalls bedeutend für die Qualität eines Verstärkers ist das Signalrauschen. Beim Messen mit einem DMS-Aufnehmer im Bereich von z.B. 0,1 mV/V und einer Speisespannung von 5 V ist das Full-Scale Signal 500 µV. Aufgelöst mit nur 1000 Schritten entspricht 1 Digit bereits nur noch 500nV. Es ist leicht zu erkennen, dass Rauschspannungen einen massiven Einfluss besitzen. Rauschspannungen verhalten sich in ihrer Amplitude proportional zu der Wurzel der Frequenz. Dadurch, dass in der TF-Technik nur Signale in einem bestimmten Band übertragen werden, sind auch nur diese frequenzbedingten Rauschspannungen wirksam.

### Die Vorteile der Trägerfrequenztechnik zusammengefasst

- Verwendbar für ohmsche, induktive und kapazitive Sensoren;



### Einsatzbedingung

Einsatzbedingung	zu bevorzugen	
	TF-Prinzip	DC-Prinzip
Hohe Stabilität und Genauigkeit ist gefordert	x	
Störungen aus dem Umfeld sind zu erwarten (Industrienumgebung)	x	
Messfrequenzen oberhalb 1kHz sind zu messen		x
DMS-Aufnehmer werden eingesetzt	x	
Es sollen auch induktive Aufnehmer anschließbar sein	x	
Hochohmige Aufnehmer wie potentiometrische Aufnehmer werden in Verbindung mit langen Kabeln eingesetzt		x

- unempfindlich gegenüber Störsignalen wie Thermospannungen, Netzspannungen, elektrische und magnetische Kopplungen durch selektive Übertragung;
- höhere Stabilität und bessere Genauigkeit.

## 2. Gleichspannungsprinzip

Bei DC-Messsystemen werden die passiven Sensoren mit einer Gleichspannung gespeist und die Messgröße, z.B. die zu messende Kraft, durch die modulierte Amplitude der Spannung abgebildet. So ist das Gleichspannungssignal am Verstärkereingang zwar auf einem sehr geringen Pegel, entspricht aber schon vom Aussehen dem zu erwartenden Messsignal. Der Gleichspannungsverstärker ist in seinem Eingang prinzipiell breitbandig. Er überträgt alle Signale im Frequenzbereich von 0 Hz bis zu seiner Grenzfrequenz, z.B. 1kHz. In mehreren Stufen wird das Signal verstärkt, bis es entsprechend aufbereitet dem Anwender zur Verfügung steht. Hierbei werden alle Signale, ob Stör-, Drift- oder Rauschsignale, gleichermaßen verstärkt. Der DC-Verstärker selektiert im Vergleich zum TF-

Verstärker nicht. In Abbildung 2 ist auch dieser Zusammenhang dargestellt.

## Messfrequenzbereich

Im Vergleich zu einem TF-Verstärker, der immer nur ca. 1/4 der Trägerfrequenz als Nutzfrequenz bietet, ist der DC-Verstärker im Prinzip in der Frequenz nach oben offen. Messsysteme oberhalb eines Signalbereiches von 1 bis 2kHz sind deshalb meistens als DC-Verstärker aufgebaut.

## Kabellänge und Aufnehmerwiderstand

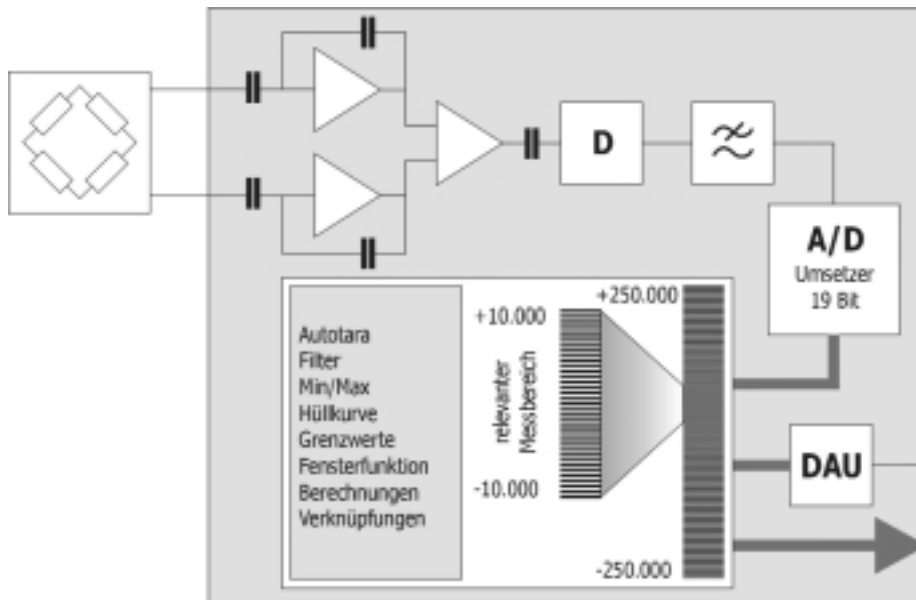
Jede Art von Kabel, auch das Aufnehmeranschlusskabel, stellt, als Ersatzschaltbild betrachtet, ein Netzwerk von Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten dar. Die Kapazitäten zwischen den einzelnen Adern und dem Kabelschirm können pro Meter Kabellänge schon einige pF betragen. Sie bilden zusammen mit dem Aufnehmerwiderstand ein RC-Glied. Deshalb sollte die Kabellänge bei Verwendung einer TF von 4,8 kHz bei DMS-Aufnehmern mit einem Widerstand 350 Ω nicht länger als ca. 250 m sein. Bei hochohmigen Aufnehmern ab ca. 3 kΩ ist der DC-Verstärker dem TF-Verstärker vorzuziehen.

### Die Vorteile der Gleichspannungstechnik zusammengefasst

- Höherer Messfrequenzbereich prinzipbedingt möglich;
- besonders für hochohmige Aufnehmer gut geeignet;
- universell für Spannungssignale zu verwenden.

## 3. Bedeutung für die Praxis/ Auswahlschema

Aufgrund der Störsignalunterdrückung und den besseren Messeigenschaften (Stabilität, Genauigkeit) ist das TF-Prinzip bei der Messung mit DMS-Aufnehmern dem DC-Prinzip vorzuziehen. Da heute Trägerfrequenzverstärker mit einem Messfrequenzbereich von mindestens 1 kHz zur Verfügung stehen, spielt der höhere Messfrequenzbereich der DC-Verstärker nur bei ca. 3% der Applikationen eine Rolle. Für das Messen mit hoch-



ohmigen Aufnehmern, wie z. B. mit potentiometrischen oder piezoresistiven Aufnehmern, kann der Einsatz von DC-Verstärkern von Vorteil sein. Hier ist das Wechselspiel von Kabellänge, Umfeldstörungen und Anforderungen an die Stabilität und Genauigkeit maßgeblich.

#### 4. Zwei Vorurteile, die heute nicht mehr gelten

##### Vorurteil 1: Trägerfrequenzverstärker sind teuer

In der Tat waren vor 20 Jahren Trägerfrequenzverstärker aufgrund des höheren Schaltungsaufwandes (Oszillator, Bandpassfilter, Demodulator, Abgleich-elemente) teurer als vergleichbare Gleichspannungsverstärker. Der digitale Systemtakt ersetzt den analogen Oszillator (deshalb 4, 8 KH). Teure drift- und rauscharme Instrumentenverstärker, wie sie bei DC-Verstärker eingesetzt werden, sind bei TF-Verstärkern durch die kapazitive Entkopplung nicht erforderlich. Der Demodulator hat heute nur noch einen Materialwert von wenigen Cent.

Allerdings haben einige Hersteller die Kostenvorteile nicht weitergegeben und den Marktpreis hoch gehalten.

##### Vorurteil 2: Trägerfrequenzverstärker sind schwer zu bedienen (C-Abgleich, Referenzphase...)

Die Kabelkapazitäten zwischen den einzelnen Adern des Aufnehmerkabels wirkten im Ersatzschaltbild wie Kondensatoren, die in der Wheatstonebrücke parallel zu den DMS-Widerständen liegen. So entsteht neben dem eigentlichen Messsignal mit einer Phasenlage von  $0^\circ$  ein Signal mit einer Phasenlage von  $90^\circ$ , generiert durch die Kabelkapazitäten. Bei hoher Verstärkung und langen Kabeln konnte dieses  $90^\circ$ -Signal den TF-Verstärker übersteuern, ohne dass eine Belastung des Aufnehmers vorlag. Mit den Potentiometern R-Abgleich und C-Abgleich musste mühsam und manuell sowohl das  $0^\circ$ -Signal als auch das  $90^\circ$ -Signal abgeglichen werden. Die kapazitive Übersteuerung war am Ausgang nicht zu erkennen, da der Demodulator nur die  $0^\circ$  Komponente übertrug und die  $90^\circ$  Komponente eliminierte.

In den modernen Systemen entstehen zwar auch  $90^\circ$ -Signale, doch sie haben keinen Einfluss mehr. Die analogen Eingangsstufen von Messverstärkern mit digitaler Signalkonditionierung besitzen bei weitem nicht mehr die hohe Verstärkung von z.B. 20.000 wie die rein analogen Verstärker, sondern, aufgrund der hohen Auflösung von 19 bit, noch etwa 500 bis 1000. Kapazitive Übersteuerungen treten nicht mehr auf. Der Nullabgleich kann auf beliebige Werte innerhalb des Grobbereiches definiert werden. So ist es beispielsweise möglich, eine Kraft von z.B. 20kN (2 mV/V) auf Null abzugleichen und dann im Messbereich 2 kN (0,2 mV/V) zu messen (hohe Vorspannkraft, kleines dynamisches Messsignal).

Ein moderner Trägerfrequenzverstärker stellt sich heute in der Bedienung wie ein DC-Verstärker dar.

Die Firma GANTNER Electronic stellt mit ihren neuen Messverstärkermodulen der Reihe e.bloxx A6-2 sowohl TF- als auch als DC-Varianten zur Verfügung. Sie sind mit einer Signalkonditionierung mit DSP ausgestattet. Es ist möglich, z.B. Taravorgänge auszulösen, Filter zuzuschalten, Min-/Max-Speicher zu realisieren, Hüllkurven darzustellen, Grenzwerte und Toleranzbänder zu definieren, mathematische Berechnungen und logische Verknüpfungen vorzunehmen. Zwei Analogausgänge geben den Messwert oder jedes andere errechnete Signal (Brutto/Netto, Min/Max, gefiltert/ungefiltert,  $a \times b$ ,  $x + y...$ ) als  $\pm 10V$  Spannung aus. Digitale I/O erlauben die Steuerung und die Kommunikation mit einer SPS. Profibus-DP verbindet die Module mit der Welt der Automatisierung.

#### DER AUTOR

Dipl.-Ing. Reinhard Kehrer  
GANTNER Instrumentation Deutschland  
r.kehrer@gantner.com · www.gantner.com  
Fax: 06151/95136-26

Weitere Infos

Easy Info 000