

Codierte Signale für die industrielle Ultraschall-Durchflussmessung

*Ens, Fagerberg, Grieb, Keitmann-Curdes, Schaefer, von Dosky
Siemens AG, Hauppauge (USA), Sønderborg (DK), Karlsruhe (D)*

Zusammenfassung: Für industrielle Inline-Ultraschall-Durchflussmessgeräte wurde als Alternative zum Stand der Technik ein codiertes Signalmuster erprobt. Ziel ist eine robustere Durchflussmessung mit weniger Abhängigkeiten zur jeweiligen Einbausituation. Um dies zu ermöglichen, wurden zunächst ein passendes Codemuster und die maximale Codelänge ermittelt. Weiterhin erfolgten die Charakterisierung der Transducer-Übertragungseigenschaften und die Implementierung des Codes auf einer universellen Plattform. Schließlich wurden Durchflussmessungen unter verschiedenen Strömungsbedingungen mit Standard- und codiertem Signal durchgeführt.

Schlagwörter: Ultraschall-Durchflussmessung, Signalcodierung, Signal-Rauschabstand

Einleitung

Im Bereich der industriellen Durchflussmessung nimmt die Ultraschallmessung eine herausragende Position ein. Vorteilhaft ist der vergleichsweise einfache mechanische Aufbau des Durchflusssensors. Er kommt ohne Einbauteile aus und erzeugt somit keinen zusätzlichen Druckverlust. Neben Clamp-on-Messsystemen sind vor allem die Inline-Messgeräte weit verbreitet. Die Signalverarbeitung der gebräuchlichen Geräte basiert meist auf einer Schalllaufzeitmessung. Die erreichbare Messgenauigkeit für den Volumenstrom reicht heutzutage fast an Coriolis-Durchflussmesser heran, die aber mechanisch deutlich aufwändiger aufgebaut sind, [1].

Problemstellung

Oftmals sind die Einbaubedingungen des Durchflusssensors nicht bekannt oder sie sollen nicht eingeschränkt werden. Im Gegensatz zu Coriolis-Durchflussmessern werden bei Ultraschall-Durchflussmessgeräten Ein- und Auslaufstrecken spezifiziert, um ein axialsymmetrisches Geschwindigkeitsprofil des Fluides im Sensor herzustellen, Bild 1. Pumpen und Ventile im Einlaufbereich wirken oft sehr störend.

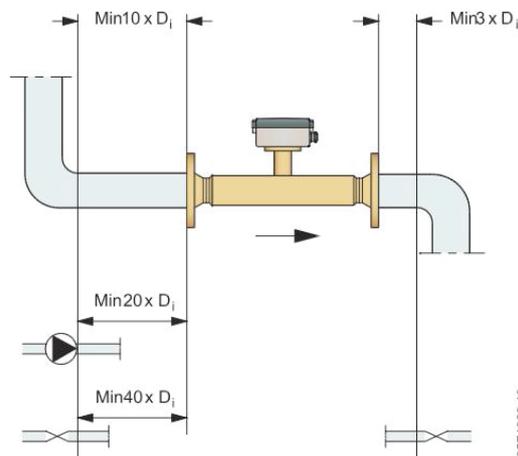


Bild 1: Einbauvorschrift für Sitrans F US inline

Durch Kavitation verursachter Körperschall, der durch das Fluid und durch die Rohrwand propagiert und den Sensor erreicht, kann eine ultraschallbasierte Durchflussmessung erschweren. Der Grund ist die akustische Bandbreite dieses Störschalls, der die Laufzeitmessung durch eine spektrale Überlagerung des Messsignals extrem stört oder unmöglich macht.

Basierend auf einer Kodierung der Sendepulsfolge wurde ein Ansatz erprobt, wie sich auch bei stark gestörten Umgebungen akzeptable Ultraschall-Durchflussmessungen ermöglichen lassen.

Konzeption und Tests

Der Nutzsignalpegel ist bei Durchflusssensoren oft limitiert, aber die Signaldauer ist prinzipiell variabel. Deshalb wurde alternativ zur Standard-Signalfolge mit fünf Sinusperioden ein Pulscompressionsverfahren erprobt. In Bild 2 sind beide Signalfolgen dargestellt.

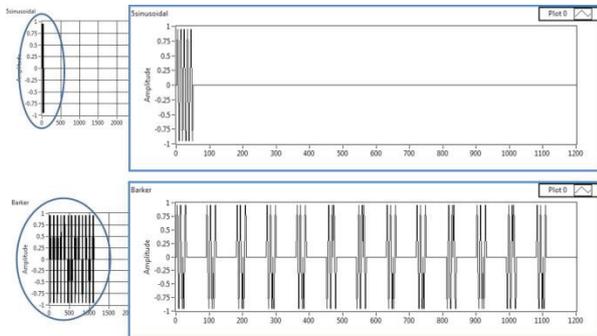


Bild 2: Standard- und modifizierte Signalfolge für Ultraschall-Durchflussmesser, die Bits 6, 7, 10 und 12 sind in der Phase gedreht

In eine universelle Transmitterplattform wurde neben dem Standardsignal ein 13-bit-Barker-codiertes Signal implementiert [2], das im Vergleich zu anderen Codes eine geschlossene Pulsfolge hat und den Betrag der Nebenkeulen bei der Korrelation beider Empfangssignale (up und down) minimiert. Über die Verwendung im Bereich der medizinischen Ultraschallmesstechnik zur Brustkrebsdiagnose wurde bereits berichtet [3].

Die Übertragungseigenschaften wurden mit einem Seriensensor Siemens Sitrans F US SONO 3300 DN50 mit 1-MHz-Transducern untersucht. Die Pulsfolge wurde dabei so optimiert, dass die schmalbandigen Ultraschallwandler das Digitalsignal akzeptabel übertragen können. Entscheidend ist hier die Eindeutigkeit der mehrmaligen Phasendrehung innerhalb einer Pulsfolge. Aus den Messungen wurde eine optimale Pulsfolgenlänge ermittelt, die sich durch das schärfste Korrelationsergebnis auszeichnet. Gleichzeitig ist die gesamte Wellenfront kürzer als der Abstand beider Transducer im DN50-Sensor, um Interferenzen nach Reflexion an der Oberfläche des Empfangstransducers zu vermeiden. Jedes Bit im Transducer wird vorzugsweise mit zwei Sinusperioden angeregt und mit einer gegenphasigen Sinusperiode gebremst. Nach einer kurzen Nullsignalzeit folgt das nächste Bit.

Die Signalverarbeitung erfolgte nach dem Laufzeitverfahren. Neben der Bestimmung der Signalstartzeiten erfolgte die Ermittlung der Verschiebe-

zeit durch die Korrelation beider Empfangssignale in Durchflussrichtung und entgegengesetzt. Dazu wurde eine universelle Transmitterplattform entwickelt, die im Vergleich zum Serientransmitter einen vergrößerten Speicher besitzt, um flexibler arbeiten zu können. Dies geht jedoch einher mit einer deutlich verlängerten Zeit zur Signalverarbeitung. Die Durchflussmessreihen erfolgten mit vergleichsweise kurzen Ein- und Auslaufstrecken sowie teilgeöffnetem Ventil im Einlaufbereich des Sensors. Den Versuchsaufbau zeigt Bild 3.



Bild 3: Ultraschall-Durchflussmessgerät, kurze Einlaufstrecke vom Einlassventil

Zunächst wurden Tests bei akzeptablem Durchflussprofil durchgeführt (Strömungsgeschwindigkeit 2 m/s, 100 % Ventilöffnung), Bild 4.

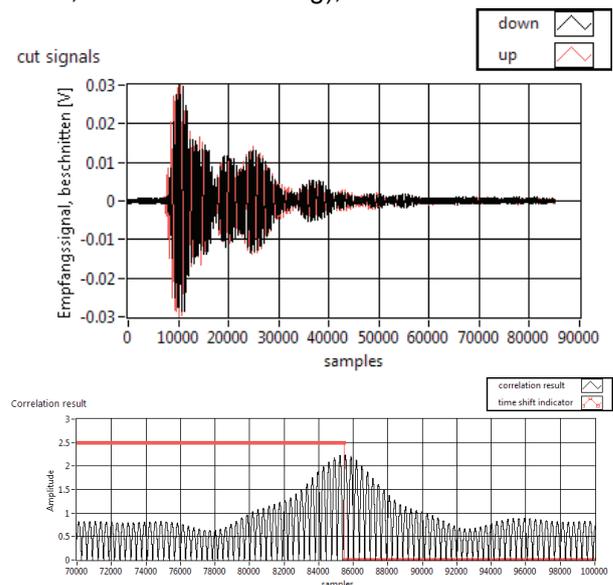


Bild 4: Empfangssignale und Korrelationsergebnis mit Standard-Pulsfolge

Deutlich erkennbar sind das Aufschwingen des Transducers sowie das Ab- und Nachschwingen. Aus dem Korrelationsergebnis wurde die Verschiebezeit berechnet durch Parabelinterpolation fünf benachbarter Maxima (± 2 um das globale Maximum). Echos wurden nicht mehr aufgezeichnet. Im Vergleich dazu ist in Bild 5 das empfangene Barker-Signal dargestellt.

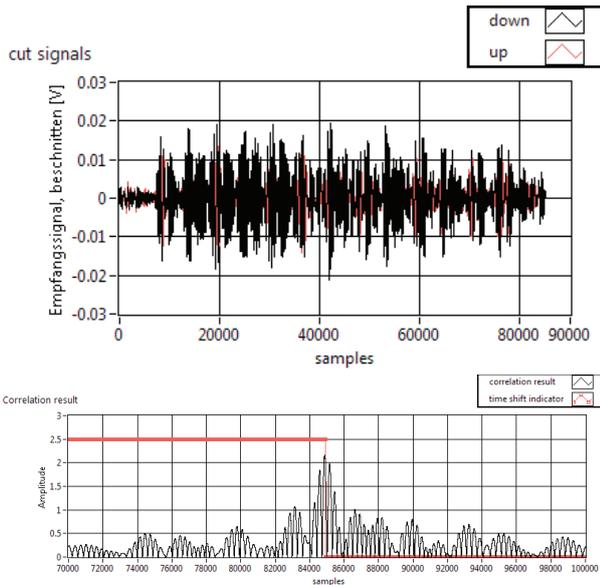


Bild 5: Empfangssignale und Korrelationsergebnis mit Barker-Pulsfolge

Die bessere Unterdrückung von Nebenkeulen im Bild 5 ist signifikant.

Nachfolgend wurden gestörte Durchflussprofile erzeugt, beispielsweise bei 2 m/s und nur noch 25 % Ventilöffnung. Dieses Szenario erzeugt Kavitation, der Empfangssignalpegel ist sehr gering durch die Beugung der Schallwellen an den Phasengrenzen im Fluid. Mit dem Standardsignal war eine Durchflussmessung unmöglich, Bild 6.

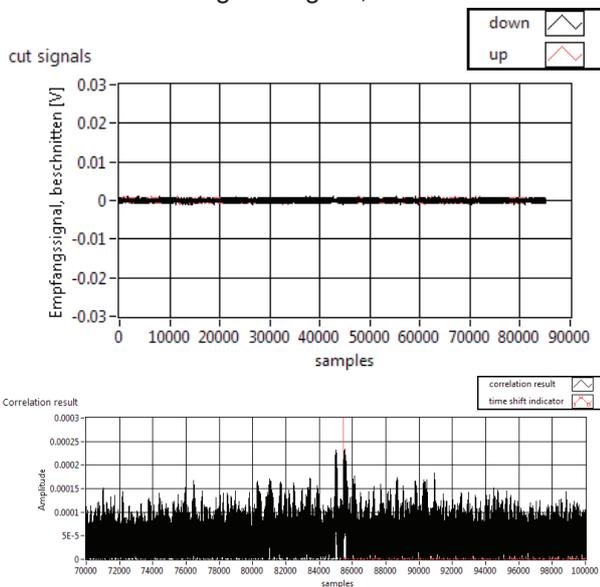


Bild 6: Empfangssignale und Korrelationsergebnis für Strömung mit starker Kavitation und Standard-Pulsfolge, eine eindeutige Erkennung der Verschiebezeit ist nicht mehr möglich

Wird das Sendesignal durch das codierte Signal substituiert, kann unter gleichen Bedingungen die Verschiebezeit wieder ermittelt werden, Bild 7.

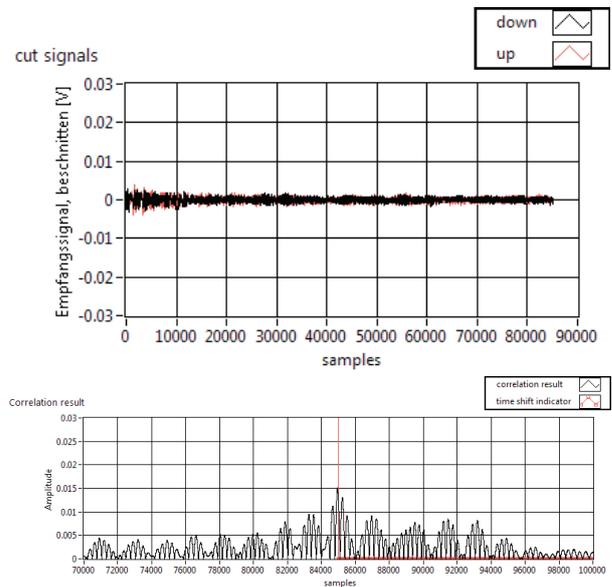


Bild 7: Empfangssignale und Korrelationsergebnis für Strömung mit starker Kavitation und Barker-Pulsfolge; die Nebenkeulenunterdrückung ist noch akzeptabel, die Verschiebezeit ist eindeutig bestimmbar

Weiterhin wurde versucht, die Grenzen der Einsetzbarkeit der codierten Pulsfolge in der Durchflussmessung auszuloten. Dazu wurde extreme Kavitation erzeugt (3,7 m/s, 25 % Ventilöffnung). Die Signaländerung am Empfänger beträgt dann im Fenster der zu erwartenden Pulsfolge nur noch ± 2 Digits. Trotzdem kann die Signalfolge rekonstruiert werden und das Gerät bleibt messfähig, Bild 8.

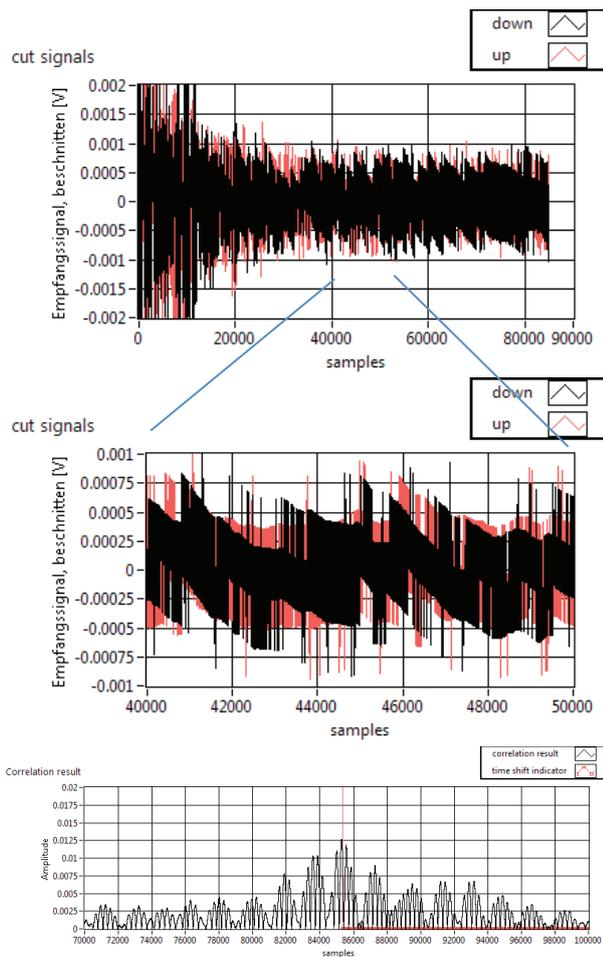


Bild 8: Empfangssignale, Detail und Korrelationsergebnis. Die noch wirksame Nebenkeulenminimierung ermöglicht immer noch die Bestimmung der Verschiebezeit, die Messfähigkeit bleibt erhalten

Erkenntnisse

Die modifizierte Pulsfolge bringt unter allen Einsatzbedingungen ein schärferes Korrelationsergebnis. Damit lässt sich das Laufzeitverfahren präziser auswerten. Reduziert sich zusätzlich das Signal-zu-Rauschverhältnis drastisch, so dass normalerweise keine Messung mehr möglich wäre, kann mit der codierten Pulsfolge dennoch weiter gemessen werden. Es wurde ermittelt, dass sich selbst bei extrem kleinen Signal-zu-Rauschverhältnissen noch passabel messen lässt. Um dies herauszuarbeiten, wurden im Durchflusssensor ein Schallpfad mit codierter und ein zweiter Schallpfad mit Standard-Pulsfolge gleichzeitig betrieben.

Die codierte Pulsfolge macht das Ultraschall-Durchflussmessverfahren nicht unbedingt genauer, aber deutlich robuster und erweitert dessen Einsatzbereich.

Literatur

- [1] L.C. Lynnworth, "Ultrasonic Measurements for Process Control – Theory, Techniques, Applications", Academic Press, San Diego
- [2] www.wikipedia.org
- [3] Derouiche, B. F.: Vergleich zwischen Chirps und binären Codes für einen experimentellen 3D-Ultraschall-Computertomographen, Forschungszentrum Karlsruhe, Diplomarbeit, 2008