

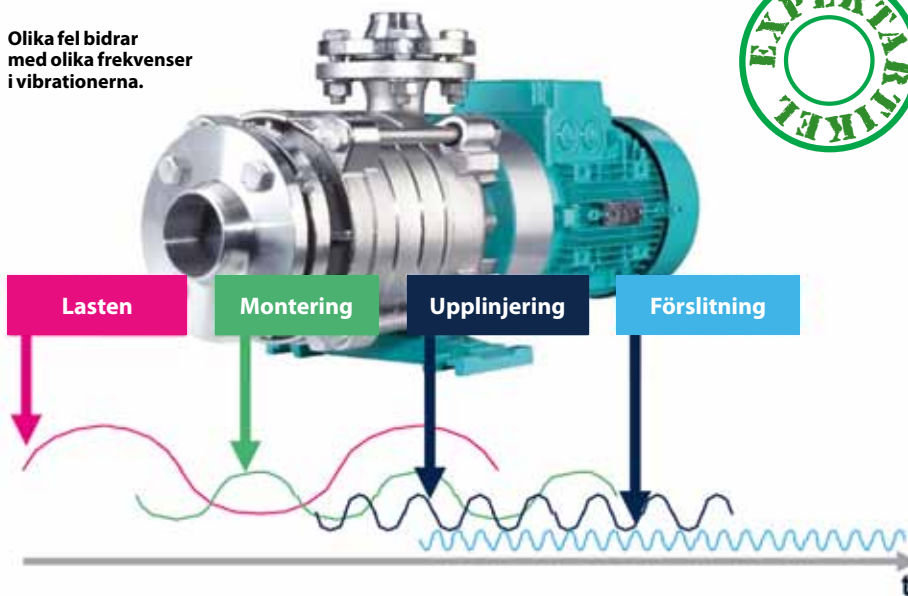
Vibrationssensorer för industriella tillämpningar



Av Petr Stukjunga, ST Microelectronics

Petr Stukjunga har arbetat närmare 15 år på ST Microelectronics. Idag är han senior applikationsingenjör och stödjer företagets kunder i EMEA-regionen. Fokus är framförallt på mikromekaniska sensorer för rörelser och miljöparametrar.

Olika fel bidrar med olika frekvenser i vibrationerna.



Det blir allt vanligare med sensorer som övervakar installationer i industrin. Det kan handla om vibrationer, ljud eller ultraljud, ström, spänning och temperatur.

Ta som exempel en motor som har en vibrationssensor monterad på ovansidan. Beroende på vad det är för typ av vibrationer är det möjligt att förutse när ett fel kommer att inträffa. Det kan handla om dagar eller veckor fram i tiden.

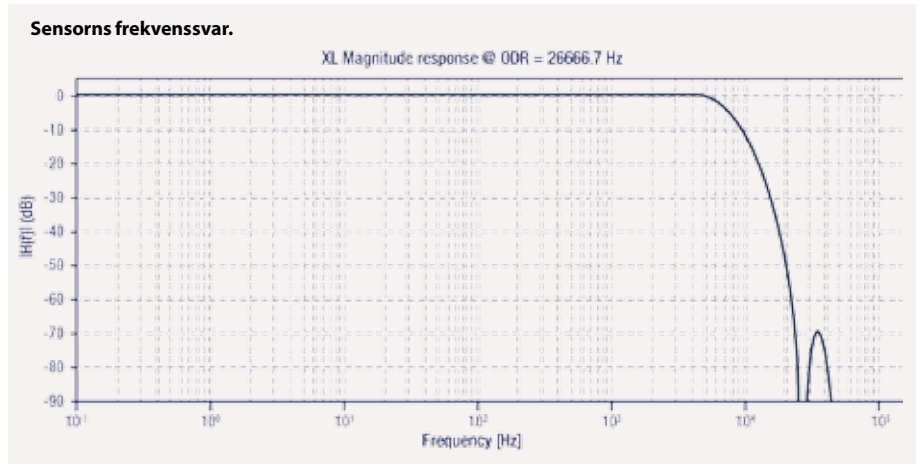
Om motorn driver en fläkt och ett av bladen är skadat kommer det att skapa vibrationer med en viss signatur.

Om motorn istället sitter löst kommer det att skapa vibrationer med andra frekvenser och annan form.

En dålig upplinjering mellan motor och last kommer att skapa en tredje signatur. Slutligen har vi slitage i lager, växellåda och andra delar som genererar de högsta frekvenserna i vibrationsdata.

Under senare år har piezoelektriska vibrationssensorer utmanats av mikromekaniska dito. Målet har dock inte varit att ersätta dem ett-till-ett. Mikromekaniska sensorer är billigare, lättare och energisnålare, vilket gör det möjligt att använda dem på många fler ställen. De kan också skicka data trådlöst till molnet. Mikromekaniska sensorer har också fördelar som att de återhämtar sig snabbare efter en

Parameter	Värde
Antal axlar	3
Fullt mätområde [g]	±2/±4/±8/±16
Bandbredd (-3dB) [kHz]	6,3
ODR [kHz]	26,7
Databuss	SPI
Brusdensitet [$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$]	75 (60 för en axel)
Strömförbrukning [mA]	1,1
Funktioner	FIFO (3 kbyte). Programmerbara högpass- och lågpasfilter. Interrupt. Temperatursensor. Inbyggd självttest.
Arbetstemperatur [°C]	-40 till +105
Matningsspänning [V]	2,1 + 3,6
Kapsling [mm ³]	LGA 2,5×3×0,83 (14 anslutningar)



hård stöt, de har frekvenssvar ner till 0 Hz för maskiner som roterar långsamt liksom möjligheten att mäta vibrationer i olika riktningar.

Ett exempel på en modern vibrationssensor för industriella tillämpningar är IIS3DWB från ST Microelectronics.

IIS3DWB är en treaxlig sensor med ett valbart område från 2g till 16g. Traditionellt brukar man behöva 4g eller 8g för att övervaka motorer.

Sensorn har en SPI-buss som gör den enkel att ansluta till en styrkrets. Bandbredden är 6,3kHz@-3dB med en datatakt på 26,7 kHz.

Bruset ligger på 75 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ vilket kan minskas till 60 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ när bara en av axlarna används för mätning. Strömförbrukningen är 1,1 mA, vilket gör den lämplig för batteri-drivna tillämpningar.

Vidare finns ett FIFO på 3 kbyte, programmerbara filter och inbyggd självttest. Det användbara temperaturområdet går från -40 °C upp till +105 °C. Matningsspänningen ska ligga mellan 2,1 och 3,6V. Kapslingen är en LGA med måtten 2,5 × 3 × 0,83 mm.

ST garanterar en livslängd på minst tio år för IIS3DWB.

DE VIKTIGASTE SPECIFIKATIONERNA

för den här typen av sensorer är:

- Bruset
- Bred och flack mätbandbredd för mekaniska vibrationer
- Skarp filterkaraktär för att undvika vinkningsfenomen
- Temperaturstabilitet

Bruset

Det är viktigt med en låg brusnivå när man övervakar maskiner eftersom det då går att upptäcka små variationer i vibrationernas

karaktär och därmed med stor sannolikhet upptäcka begynnande förlitning.

De fyra block som syns i figuren är en förenklad beskrivning av filterkedjan i IIS3DWB. Om vi börjar med den mekaniska sensorn, så har den en resonansfrekvens på 7 kHz. Den analoga signalen samplas, därefter filtreras den med lågpasfilter LPF1 som skär vid 6,3 kHz. Det sista blocket är en kombination av filter och digital signalbehandling. Sammantaget ger alla steg en brusnivå på $-75 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ för x- och y-axeln och $110 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ för z-axeln, när mätningen görs i alla tre riktningarna.

När mätningen bara görs i en riktning ändras metoden för sampling och filtrering, vilket leder till lägre brus, ner till $60 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ för x- och y-axeln medan z-axeln har $80 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Bred och platt mätbandbredd

Tittar vi på frekvenssvaret på utgången av lågpasfilter LPF1 är det platt upp till 6,3 kHz där 3dB-punkten ligger. Tack vare det platta svaret behövs ingen kalibrering eller ytterligare filtrering eller utjämning i applikationsprocessorn.

Stor undertryckning utanför bandet

En annan viktig egenskap hos frekvenssvaret är hur det uppför sig över 6,3 kHz. Man kan se att undertryckningen av högre signaler ökar mycket snabbt, det handlar om 90 dB per dekad. Dämpningen är över 70 dB för frekvenser över 26,7 kHz.

Slutligen kan man notera att dämpningen av signaler som kan vikas tillbaka in i passbandet är över 50 dB.

En snabbt ökande undertryckning utanför bandet gör det möjligt att eliminera frekvenskomponenter som annars skulle kunna skapa vikiningsproblem och därmed påverka analysen. IIS3DWB har allt detta integrerat.

Temperaturstabilitet

Den sista faktorn som har betydelse för vibrationsensorn är storleken på temperaturdriften. För IIS3DWB är den negligerbar eftersom den ligger inom ± 2 procent över hela temperaturområdet från -40°C till $+105^\circ\text{C}$.

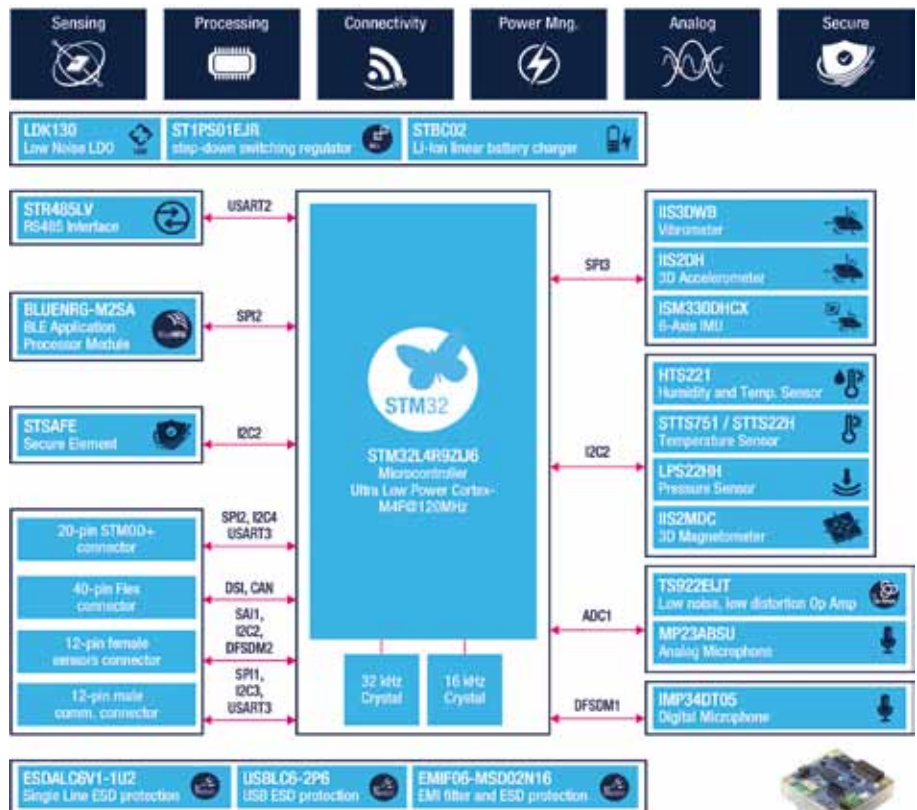
Därmed behöver man inte göra någon ytterligare kalibrering eller lägga in någon kompensering i styrkretsen.

Tack vare allt det som nämnts levererar IIS3DWB vibrationsdata av mycket god kvalitet. Data kan analyseras antingen i tids- eller frekvensdomänen genom att köra en FFT-algoritm i en lokal styrkrets. Avvikelse kan då upptäckas lokalt. Alternativt kan data förbehandlas och sedan skickas till molnet för analys.

Utvärderingsverktyg och mjukvara

Det finns ett stort antal hårdvaru- och mjukvaruverktyg för att skapa applikationer för monitorering.

Utvärderingspaketet STEVAL-MKI208V1K innehåller ett litet kort som gör det enkelt att integrera IIS3DWB med ett testsystem under utvecklingsfasen. Kortet innehåller vibrationsensorn, en kontakt för den flatkabel som kommer med kortet plus ett adapter-



Modulen innehåller allt som behövs för att övervaka en motor inklusive styrkrets, sensorer och signalbehandling.

kort med en DIL24-kontakt.

Det är enkelt att skruva, limma eller sätta fast kortet med en magnet där man vill mäta vibrationer.

Ett annat användbart hårdvaruverktyg är STWIN (Sensor Tile Wireless Industrial Node). Utvecklingspaketet STEVAL-STWINK1B kommer med laddningsbart batteri, en plastkapsling och programmeringsproben ST Link. Det är bara att packa upp allt och börja övervaka en maskin. Alternativt så kan man utveckla egen applikation.

Om man tittar på blockdiagrammet kretsar det runt STM32L4, en lågeffektskrets med en Cortex-M4 från ST Microelectronics plus olika sensorer för industriella tillämpningar. Det är vibrationsensorn IIS3DWB, den sexaxliga IMU:n ISM330DHCX med maskininlärningskärna, den energisnåla accelerometern IIS2DH och magnetometern IIS2MDC. Dessutom finns temperatursensorn STTS751, för relativ luftfuktighet finns HTS221 och så finns en barometer i form av LPS22HH.

Vidare finns två mikromekaniska mikrofoner. MP23ABS1 är bredbandig, klarar ultraljud och har en analog utgång, medan IMP34DT05 täcker det hörbara frekvensområdet och har digital utgång.

För kommunikation med omvärlden finns blåtandsmodulen SPBTLE-1S liksom transceiverar för USB och RS485.

För att säkra data mot intrång finns STSAFE-100.

När det gäller mjukvaruverktyg finns det tre alternativ. STSW-STWINKT01 och FP-IND-PREDMNT1 passar för loggning av

sensordata och övervakning av vibrationer i tids- och frekvensdomänen. Det tredje alternativet är X-CUBE-MEMSMIC1 som även kan processa data från mikrofonerna.

Utvecklingspaketet STSW-STWINKT01 fokuserar på snabb loggning av sensordata och klarar att logga alla data från STWINKT01 även vid den högsta samplingsfrekvensen. Data lagras antingen i ett μSD -kort eller på en dator som är ansluten via USB. Loggningen kan konfigureras och styras från en smartmobil eller en dator.

Det andra mjukvarupaketet FP-IND-PREDMNT1 är speciellt framtaget för förebyggande underhåll med analyser av vibrationer i både tids- och frekvensdomänen. I tidsdomänen tittar programmet på status hos RMS-hastigheten och spikar i accelerationen för alla tre axlar.

Analysen i frekvensdomänen baseras på FFT-algoritmer och gör det möjligt att studera vibrationernas frekvensspektrum. Det finns två färdiga exempel där det första kräver kortet STEVAL-STWINWFV1 Wi-Fi.

Genom att kopla upp sensorerna via detta wifi-kort kan vibrationer och ultraljudsdata visas i AWS moln med hjälp av Predictive Maintenance Dashboard. Tjänsten är gratis att utvärdera och nås via ST Microelectronics websida under fliken DSH-PREDMNT.

Det andra exemplet är STWIN, en firmware möjliggör motsvarande funktionalitet men via blåtandsmodulen och en smartmobil. Sensordata och FFT-resultaten presenteras på mobilen med hjälp av ST:s app som finns för både Android och iOS. ■