



Forth Road Bridge i Skottland, och den nya övergången Queensferry Crossing under uppbyggnad.



London Bridge faller

– skördande sensorer vaktar

Barnvisans "London Bridge is Falling Down" har aldrig besannats. Men flera broar i Europa riskerar faktiskt detta öde. Närmare bestämt är risken att de vittrar sönder. Brokatastrofen i Genua i augusti 2018 gav en tragisk demonstration. 43 personer omkom och hundratals förlorade sina hem när ett segment i en kilometerlång vägbro kollapsade.

Morandibron var en av ett stort antal broar som byggdes på 60-talet i Europa för att möta en kraftig ökning av antalet personbilar. Det var en kabelhållen konstruktion med kablarna inkapslade i förspänd betong. Det ansågs vara en i praktiken underhållsfri konstruktion. En nackdel var att inspektion av kablarna är mycket svårare än i modernare konstruktioner vilket betyder att korrosion av kablarna kan förbli oupptäckt, potentiellt ända till ett sammanbrott. För att göra problemet ännu värre är många av broarna som konstruerades och byggdes på 60-talet idag i slutet av sin förväntade livstid.

Morandibrons kollaps chockade hela Europa, inte bara Italien. Enligt en studie är upp till 300 broar som byggdes vid samma tid i riskzonen för strukturell kollaps. En fransk utredning konstaterade att över 30 procent av de 12 000 broar som ingår i det franska vägnätet är i akut behov av reparationer. I Tyskland släpptes en rapport 2017 som sade att 12,4 procent av vägbroarna i Tyskland var i dåligt skick. Tunga lastbilar är för närvarande bannlysta från ett antal broar, som

Leverkusenbron över Rhen norr om Köln, på grund av problem med den åldrande bronsstruktur. Detta skapar omfattande trängsel i området vilket kostar pengar och orsakar leveransproblem för bilfabriker i närheten.

Forth Road Bridge i Skottland öppnade 1964 som en av världens längsta hängbroar, med en förväntad livslängd på över 100 år. Den måste nu kompletteras med en andra övergång till en kostnad av 1,35 miljarder pund. Bron skulle enligt planen bära 30 000 fordon per dag i varje riktning, men antalet överträdde rutinmässigt. År 2006 var trafiken den dubbla under hälften av årets dagar. Efter oro över problem med strukturintegritet hos liknande broar i USA, fann man att korrosion inuti huvudupphängningskabeln hade orsakat att flera av kabelsträngarna gått av och att kabeln tappat en betydande del av sin bärkraft.

FRÅGAN ÄR HUR VI ska kunna undvika fler tragedier som Morandi och om vi kan sänka de enorma kostnaderna för att ersätta och uppdatera broinfrastrukturen. Regeringar över Europa och hela världen förbereder sig för att i stor utsträckning börja monitorera sina brostrukturer. Inom EU pågår forskningsprojekt som tittar på hur teknik och elektroniska övervakningssystem kan adressera problemet. Flera installationer finns redan på plats.

Det konstrueras och testas idag flera olika system för monitorering. De utnyttjar ett urval av ny och befintlig sensorteknik för att

Av Graeme Clark, Renesas



I 20 år har **Graeme Clark** jobbat med effektsnåla mikrostyrenheter i olika roller på Renesas Electronics Europe och tidigare Hitachi Electronics.

Just nu ansvarar han för introduktionen av de nya SOTB-baserade styrkretsarna på den europeiska marknaden.

avgöra om det föreligger akut risk för strukturellt haveri. Vanligast är töjningsmätare men man utnyttjar även fiberoptisk interferometri, akustisk övervakning, lutningsmätare och temperatur- och PH-mätare. Ett typiskt skarpt system skulle inkludera flera olika sensortyper fördelade över strukturen och trådlöst uppkopplade till en central.

Strukturövervakningssystem behöver nästan per definition typiskt installeras djupt inuti i bron och blir ofta oåtkomliga. Därmed blir underhåll svårt eller omöjligt utan betydande kostnader och störningar. Att samla data och mata ström via kabel är problematiskt eftersom den med tiden kan exponeras och skadas. Lågeffektradion kan vara en enkel lösning för att överföra mätdata, men batteridrift är inte alltid lämpligt, eftersom det ofta är svårt att komma åt att byta eller ladda batterierna. Problemet kräver en lösning eftersom vi behöver dessa sensorer för underhållsfri strukturövervakning över en betydande del av konstruktionens livslängd.



inte ner

En lösning – kanske den ideala – är energiskörning från sol eller vibrationer. Antingen för att direkt driva enheterna eller för att hålla sekundära batterier laddade utan extern strömkälla.

Övervakning av strukturers tillstånd med hjälp av energiskördande teknik används redan i Japan, som har liknande problem med åldrande infrastruktur som vi har i Europa. I Japan finns över 500 000 broar i nuvarande vägnät, många av dem i slutet av sin kalkylerade livslängd. Dagens övervakningssystem är vanligen batteridrivna och brottas med problem med batteribyten och laddning, särskilt när de är placerade på svåråtkomliga platser.

Några av nästa generations struktursensorer i Japan kommer att hålla ett sekundärbatteri laddat med hjälp av solenergi. I Europa är det sannolikt att olika energikällor kommer att användas. Det kommer att bestämmas efter hur sensorn är placerad i byggnaden. Bland alternativen finns vibrationsskördare och solceller.

En typisk systemkonstruktion visas i figur 1. Den visar en sensor som drivs av en liten solcell. Till och med en cell så liten som 25 cm² kan generera tillräckligt med ström för att systemet ska kunna läsa av sensorn med några minuters mellanrum och skicka mätningen trådlöst till ett centralt övervakningssystem.

I FÖLJANDE DESIGNEXEMPEL har vi valt att använda en styrkrets från Renesas RE01-familj. De har en unik kombination av hög CPU-prestanda, låg arbetsspänning och låg strömförbrukning – ner till 10 µA/MHz i aktivt läge och ner till 100 nA i standby. Dessutom har RE01-chipet en anna unik funktion: det kan använda skördad energi för egen drift och detta från ett brett spektrum av energikällor. Den kan starta på strömmar så låga som 5 µA vilket förenklar jämfört med traditionella mikrostyrkretsar som vanligen kräver en initial startström på några milliampere, vilket små energiskördare svårigen kan uppnå.

Den kan också styra laddningen av ett externt sekundärbatteri som lagrar energi nog för att vid behov driva både MCU och externa enheter. Energiskördarens regulator ger ström till sensor och radio endast när de är aktiva, vilket spar energi.

Många typer av radio kan användas, från LoRa till GSM eller NB-IoT-modem, alla med olika effektbehov. Alla kan drivas av samma lilla solcell, men överföringsfrekvensen får varieras beroende på vilken effekt som krävs.

Ett typiskt system som använder LoRa kan sända mätningar med några minuters mellanrum. En jämförelsevis effekthungrig NB-IoT-lösning innebär sannolikt att data bara kan delas några gånger i timmen. Å andra sidan är några gånger per timme normalt mer än tillräckligt för de flesta typer av sensorer vi behöver i ett strukturövervakningssystem, eftersom parametrarna vi mäter normalt inte ändras så snabbt.

Renesas har utvärderat en rad radioteknologier som kan användas i sensorsystem och tittat på typiska energikrav för sensor och radio. Varje radio har sina egna funktioner och egenskaper som kräver olika mycket energi och resulterar i olika datafrekvens och räckvidd. Figur 2 visar en jämförelse av vad som kan gälla inom en given energibudget. Den illustrerar den förväntade driftcykeln för ett system som arbetar med en energibudget på cirka 50 µA, vilket är typiskt för en 25 cm²

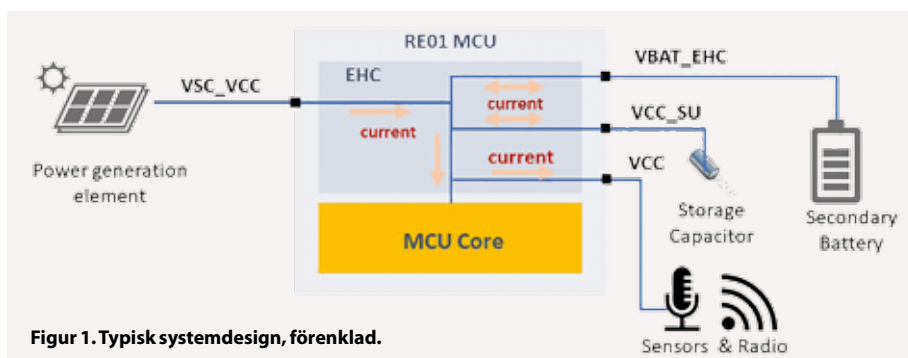
solcell som arbetar i en miljö med ett flöde på 200 Lux (som under en mycket regnig dag) eller en av senaste generationens termiska elektriska generatorer (TEG) som arbetar mot en temperaturskillnad på cirka 2–3 °C.

Som framgår tydligt av diagrammet borde vi på vår energibudget ha tillräckligt med energi i systemet för att kunna starta upp ett antal sensorer, göra en mätning och skicka ett LoRa-meddelande ungefär var 90:e sekund. För ett NB-IoT-modem gäller istället ungefär var sjunde eller åttonde minut. Detta är å andra sidan mer än tillräckligt för de flesta tillämpningar som mäter enklare parametrar som temperatur och luftfuktighet, eftersom de inte förändras så snabbt i den aktuella miljön. Diagrammet visar också att vi utan problem skulle kunna arbeta med en ännu längre cykeltid med goda säkerhetsmarginaler, eller använda någon annan mer strömslukande radioteknik.

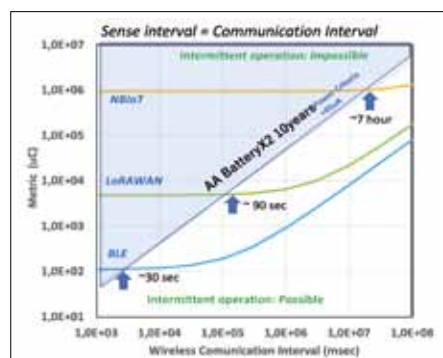
FÖR VISSA TILLÄMPNINGAR, till exempel när akustikmonitorer används för att "höra" när kabeltrådar på Forth Road Bridge går av, måste tillämpningen vara kontinuerligt aktiv eftersom händelserna vi lyssnar efter är slumpmässiga. Även i detta fall erbjuder den nya Renesas RE-familjen en fördel genom att den när det krävs kan arbeta i högt tempo i spänningar så låga som 1,62 volt och med mycket låg strömförbrukning. Detta gör dem idealiska för always-on-tillämpningar – när koden alltid snurrar. I dessa fall kan det dock krävas en kraftfullare energiskördningskälla, kanske en större solcell, för att hålla kretsen i drift och batteriet laddat.

Även om London Bridge kanske inte faller ner idag kan vi se att energiskördning har en viktig roll att spela i flera länder för övervakning av infrastrukturens hälsotillstånd. Den gör det möjligt att leverera kraft till sensorer placerade djupt inne i strukturen och därmed ge dem en betydligt längre drifttid. Detta sänker kostnader för att byta ut sensorer och minskar trafikstörningar vid arbeten med att komma åt dem.

När vi övervakar tusentals europeiska broars hälsa förlänger vi deras effektiva livslängd på ett riskfritt sätt och kan vid behov vidta korrigerande åtgärder för att rädda deras struktur. Kanske viktigast av allt kommer det att hjälpa oss att undvika ytterligare tragedier som den som utspelade sig i Genua 2018. ■



Figur 1. Typisk systemdesign, förenklad.



Figur 2. Beräkning av energibudget baserat på liten solcell eller TEG.