



Information zu Seilswingungen 2

Beschreibung Adaptiver Seildämpfer „Adaptive Cable Damper“ (ACD)

Vorteil des ACD gegenüber einem passiven Hydraulischen Dämpfer

Ein viskoser Dämpfer z.B. hydraulischer Dämpfer erzeugt wenn man ihn bewegt eine geschwindigkeitsproportionale Gegenkraft. Die Integration dieser Kraft über den zurück gelegten Weg ist gleich der in Wärme zerstreuten Energie. Für die Bedämpfung von Seilswingungen mit einem am Kabelende angeschlossenen viskosen Dämpfer kann eine optimale Dämpferkraft berechnet werden. Ist die Dämpferkraft zu gering, wird dem Kabel pro Schwingungszyklus zu wenig Energie entzogen. Ist die Dämpferkraft zu groß, wird das Kabel vom Dämpfer festgehalten und es wird ebenfalls weniger, oder keine Energie entzogen.

Bei einem passiven viskosen Dämpfer ist der Zusammenhang zwischen Kraft und Geschwindigkeit fest eingestellt. Dieser Proportionalitätsfaktor heißt Dämpfungskonstante. Für eine optimale Bedämpfung wird er berechnet zu

$$c_i = \frac{K_c}{i}$$

K_c ist eine Konstante, in der die Seilaten und der Ort der Dämpferbefestigung eingehen und i ist der Mode der Schwingung. Mit zunehmender Schwingungsfrequenz des Seils bzw. zunehmendem Mode wird die optimale Dämpfungskonstante kleiner. Schwingt das Seil z.B. in der zweiten Eigenfrequenz (Mode 2), dann ist die optimale Dämpfungskonstante nur halb so groß, wie für die erste Eigenfrequenz (Mode 1). Diese Anpassung kann ein passiver viskoser Seildämpfer nicht leisten. Seine Dämpfungskonstante ist immer gleich, so dass die Dämpferkräfte wenn das Seil in der 2. Eigenfrequenz schwingt doppelt so hoch sind, wie sie sein sollten.

Der adaptive Seildämpfer kann die erforderliche Anpassung leisten. Er liefert deshalb, unabhängig von der gerade vorherrschenden Schwingungsfrequenz des Seils immer die optimale Dämpferkraft. Dadurch kommt das Seil schneller zur Ruhe bzw. schaukelt sich nicht zu größerer Resonanz auf.

Vorteil des ACD gegenüber einem Coulomb Reib-Dämpfer

Eine Variante der Seilbedämpfung sieht Reibelemente am Seilende vor. Durch die Seilbewegung wird eine konstante Reibkraft zwischen vorgespannten Platten hervorgerufen. Die Reibkraft entspricht der Höhe der Vorspannkraft und ist konstant. Nachteilig ist, dass die Dämpfung erst dann wirksam wird, wenn die Seilbewegung ausreichend groß ist um die Reibkraft zu überwinden. Andererseits ist die Reibkraft zu gering für größere Amplituden, denn anders als beim viskosen Dämpfer wächst die Dämpferkraft mit der Seilamplitude nicht an, sondern bleibt gleich. Mit anderen Worten: Für den Reibdämpfer mit konstanter Reibkraft gibt es nur einen Arbeitspunkt, in dem er optimal funktioniert. Das Hauptproblem ist, dass er bei geringen bis mittleren Amplituden gar nicht wirksam ist.

Vorteil des ACD gegenüber dem Elastomerdämpfer

Sehr häufig werden Gummimanschetten an den Seilenden angebracht. Sie sind einfach, kostengünstig und schonen zugleich das Seil an der empfindlichen Stelle des Verankerungspunktes, indem die Querkraftbeanspruchung abgemindert wird. Trotz dieser Vorteile, sind aber Elastomere nicht in der Lage effizient genug zu bedämpfen. Selbst hochdämpfende Gummimischungen haben nur etwa 15 % Dämpfung. Ausserdem ist dieser Wert höchst nichtlinear d.h. keineswegs konstant über die Auslenkung. Ein großer Teil der im Elastomer erzeugten Kräfte ist elastischer Natur, trägt also überhaupt nicht zur Dämpfung bei. Für den Gummidämpfer gibt es ebenso wenig eine optimale Dämpfung über den gesamten Arbeitsbereich wie für den Coulomb Reib Dämpfer. Die Hauptnachteile der Elastomerdämpfer sind also ihre geringe Wirksamkeit und die hohen elastischen Kräfte, die entstehen und nicht zur Dämpfung beitragen.



Wirkungsweise des ACD mit MR Technik

Der ACD ist ein hydraulischer Dämpfer mit einer speziellen, sogenannten magneto- rheologischen Flüssigkeit. Die MR Flüssigkeit ändert im Magnetfeld ihre Scherfestigkeit. Im Dämpfer sind deshalb Spulen angeordnet, mit denen elektronisch geregelt ein Magnetfeld erzeugt werden kann. Je höher der Strom ist, umso größer wird das Magnetfeld und umso größer die Dämpfung. Der Leistungsbedarf der Spulen ist sehr gering und liegt im Bereich von 20-30 Watt.

Damit der ACD auch bei Ausfall der Elektronik eine Dämpfung hat, ist er so dimensioniert, dass immer eine passive Dämpfung vorhanden ist, die zwar nicht einer optimalen Dämpfung entspricht, aber gefährliche Resonanzfälle verhindern kann.

Regelung / Elektronik

Seine volle Leistungsfähigkeit entfaltet das System durch den Einsatz einer entsprechenden elektronischen Regelung. Das Regelungskonzept wurde in Zusammenarbeit mit der EMPA entwickelt. Es basiert darauf für jedem Schwingungszyklus die optimale Dämpferkraft zu berechnen und so die Seilschwingungen bestmöglich zu bedämpfen.

Die Regelstrecke besteht aus einem Sensor mit dem die Seilschwingung am Einbauort des ACD gemessen werden kann, dem Rechner mit dem das Messsignal verarbeitet wird und dem Dämpfer bei dem der berechnete Spulenstrom eingestellt wird. Jeder Seildämpfer ist mit einem eigenen Sensor ausgerüstet und wird individuell geregelt. Alle Dämpfer sind über einen Lichtwellenleiter mit dem zentralen Rechner verbunden.

Monitoring

Neben der Regelung des Dämpfers kann die vorhandene Elektronik für ein einfaches Monitoring genutzt werden. Aufgezeichnet werden alle Schwingungsereignisse mit Datum, Ein- und Ausschaltzeit sowie der maximalen Seilamplitude während des Ereignisses.

Selbstverständlich überwacht sich das System weitestgehend selbst. Stromausfall oder Sensorausfall wird automatisch erkannt und registriert.

Optional ist eine Seilkraftüberwachung möglich. Die Seilkraft wird dabei indirekt über eine Frequenzanalyse der Seilschwingungen bestimmt.

Internet Anbindung

Optional kann das System mit einer Internet Anbindung ausgestattet werden. Dies gestattet einen permanenten und einfachen Zugriff auf die Dämpfungsparameter, die Ereignisdateien und Seildaten von jeden beliebigen Ort mit Internet-Zugang. Selbstverständlich ist der Zugang passwortgeschützt. Die Internet Anbindung erlaubt ebenfalls eine Fernwartung des Systems sowie e-mail Benachrichtigung bei Störungen.