

## Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	VIII
Einführung	1
<b>1 Grundlagen, Stand der Technik</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Grundlagen der Drehmomentmessung</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
1.2.1 Allgemeines	5
Einbau der Meßwelle in den Antriebsstrang	5
Bauformen von Meßkörpern	6
1.2.2 Messung von Dehnungen auf der Wellenoberfläche	9
Resistive Aufnehmer, Dehnungsmeßstreifen	9
Frequenzliefernde Aufnehmer, OFW-Bauelemente	11
1.2.3 Messung des Torsionswinkels	14
Optische Aufnehmer	14
Induktive Aufnehmer	15
Wirbelstromaufnehmer	16
Phasendifferenz zwischen zwei Zahnkränzen	16
1.2.4 Messung von Schubkräften und mechanischen Spannungen	16
Piezoelektrische Aufnehmer	16
Magnetostriktive Aufnehmer	17
<b>1.3 Aufgabenstellung</b>	<b>19</b>
<b>2 Komponenten des Meßsystems</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Übersicht</b>	<b>20</b>
2.1.1 Drehmomentaufnehmer mit Elektronik auf der Welle	20
2.1.2 Drehmomentaufnehmer mit ortsfester Elektronik	22
<b>2.2 OFW-Resonator als dehnungsempfindliches Sensorelement</b>	<b>24</b>
2.2.1 Ausbreitung von Oberflächenwellen	24
2.2.2 Aufbau und Prinzip von OFW-Resonatoren	26
Interdigitalwandler	26
Reflektorfelder	28
Elektrisches Ersatzschaltbild	29
Daten der verwendeten Resonatoren	31
2.2.3 Dehnungsabhängigkeit	32

2.2.4 Temperaturabhängigkeit	33
Nichtapplizierter OFW-Resonator	33
Applizierter OFW-Resonator	37
Temperaturabhängigkeit der Dehnungsempfindlichkeit	38
2.2.5 Temperaturkompensationsverfahren	39
Differenzfrequenzprinzip	39
Temperaturabhängige Oszillatorbeschaltung	41
Temperaturbestimmung aus der OFW-Resonator-Dämpfung	42
2.2.6 Sensorapplikation	46
Applikation mit Schutzcoating	46
Beschreibung der untersuchten DMS-Kleber	47
Einfluß der Kleber auf Linearität, Hysterese und Kriechen	48
<b>2.3 Oszillatorelektronik</b>	<b>52</b>
2.3.1 Grundlagen von Oszillatoren	52
Amplitudensteilheit	53
Phasensteilheit	54
2.3.2 Oszillatorkreis mit OFW-Resonator	55
2.3.3 Anforderungen an den Oszillatorkreis	57
2.3.4 Beschreibung der verwendeten Oszillatorschaltungen	58
Einstufiger Oszillator	58
Zweistufiger Oszillator	60
2.3.5 Stabilität	62
Einstufiger Oszillator	62
Differenzfrequenz zweistufiger Oszillatoren	63
<b>2.4 Übertrager</b>	<b>65</b>
2.4.1 Anforderungen und Aufbau	65
2.4.2 Verkopplung von Streifenleitern	68
Ersatzschaltbild der verkoppelten Streifenleiter	68
Partielles Differentialgleichungssystem	69
Lösung des Differentialgleichungssystems	71
Übertragerauslegung	73
2.4.3 Simulationen und Messungen des Übertragerverhaltens	75
Beschreibung des ortsdiskreten Netzwerkmodells	75
Versuchsaufbau	77
Eigenschaften eines Ringpaares	79
Eigenschaften des Rückkoppelzweiges mit OFWR und Übertrager	81
Frequenzgang des offenen Oszillatorkreises	84
Oszillatorausgangsfrequenz und Amplitude	85
Maßnahmen zur Verringerung des Rotationseinflusses	86
Rundlaufabweichung und axiale Verschiebung	87

---

2.4.4 Gleichzeitiger Betrieb von zwei OFW-Resonatoren	89
Übertrageranordnung	89
Rotationsabhängigkeit der Differenzfrequenz	90
Wellensynchrone Abtastung	91
Beeinflussung benachbarter Oszillatoren	92
<b>2.5 Frequenzzähler</b>	<b>94</b>
2.5.1 Anforderungen an den Frequenzzähler	94
Auswirkung des integrierenden Umsetzverfahrens bei dynamischen Signalen	95
Multiperiodendauermessung mit Korrektur der Start-/Stoppfehlerzeiten	97
Einfluß überlagerter Störspannungen auf die Frequenzauflösung	98
2.5.2 Realisierung des Frequenzzählers	99
Zeitmessung im Nanosekundenbereich mit einem LCA	99
Temperaturkompensation	102
Aufbau und Meßergebnisse	102
<b>3 Drehmomentmessung</b>	<b>105</b>
3.1 Beschreibung der eingesetzten Meßwellen	105
3.1.1 Konstruktion	105
3.1.2 Dehnung der Resonatoren bei Torsion	106
3.2 Statische Messungen	108
3.2.1 Beschreibung des Meßaufbaus	108
3.2.2 Signalverläufe bei sinusförmiger Aussteuerung	110
3.2.3 Referenzmessungen	111
Meßwelle mit integrierter Elektronik	111
Referenzmeßwelle	113
3.3 Dynamische Messungen	117
3.4 Bestimmung der Wellentemperatur bei rotierender Welle	120
<b>4 Zusammenfassung</b>	<b>124</b>
<b>Anhang: Waage mit OFW-Resonator-Biegebalken</b>	<b>127</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>131</b>