

Dipl.-Ing. Dirk Killat, Neubiberg

# **Störgrößeneliminierende Sensorsignalverarbeitung**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **265**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Sensorschnittstellen . . . . .	3
1.2	Aufgaben der Sensorsignalverarbeitung . . . . .	3
1.3	Integration von Sensor und Signalverarbeitung . . . . .	4
1.4	Der smarte Sensor . . . . .	5
1.5	Inhalt dieser Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Verfahren der Störgrößeneeliminierung</b>	<b>8</b>
2.1	Rauschen . . . . .	8
2.1.1	Rauschen als Störgröße . . . . .	8
2.1.2	Rauschen der MOSFETs . . . . .	9
2.2	Trägerfrequenztechniken . . . . .	10
2.2.1	Amplitudenmodulation (AM) . . . . .	12
2.2.2	Frequenzmodulation (FM) . . . . .	14
2.3	Correlated Double Sampling . . . . .	17
2.4	Chopper-Technik . . . . .	18
2.4.1	Chopper-Technik bei CMOS-Verstärkern . . . . .	18
2.4.2	Richtungsumkehr-Verfahren für Vektor-Sensoren (ADM) . . . . .	21
2.5	Multisensorsysteme und Störgrößensensoren . . . . .	22
2.6	Selbstkalibrierung . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Auswirkung von Abtastung und CDS auf Rauschen</b>	<b>25</b>
3.1	Das Spektrum abgetasteter Signale . . . . .	25

3.1.1	Abtastspektrum eines Sinus-Signals . . . . .	25
3.1.2	Abtastspektrum des weißen bandbegrenzten Rauschens . . . . .	26
3.1.3	Abtastspektrum des 1/f-Rauschens . . . . .	29
3.2	CDS-Spektren . . . . .	30
3.2.1	Auswirkung von CDS auf ein Sinus-Signal . . . . .	30
3.2.2	CDS-Spektrum des weißen Rauschens . . . . .	31
3.2.3	CDS-Spektrum des 1/f-Rauschens . . . . .	32
3.3	Numerische Simulation des CDS . . . . .	35
3.3.1	Zeitdiskrete Signale und diskrete Fouriertransformation . . . . .	36
3.3.2	Zufallszahlen und Rauschprozesse . . . . .	37
3.3.3	Signalfilterung und 1/f-Rauschen . . . . .	38
3.3.4	CDS-Spektren des Rauschens . . . . .	41
<b>4</b>	<b>CDS bei einem IR-Reflexlichttaster</b>	<b>43</b>
4.1	Prinzip und Störsignalunterdrückung . . . . .	44
4.1.1	Wirkungsprinzip des CDS beim Reflexlichttaster . . . . .	44
4.1.2	Störsignaleigenschaften des CDS-Reflexlichttasters . . . . .	45
4.1.3	Auflösung und Rauschen . . . . .	48
4.2	Betrieb und Modellierung der Fotodiode . . . . .	50
4.2.1	SPICE-Parameter der Fotodiode BPW 41 N . . . . .	51
4.2.2	Dimensionierung des Lastwiderstands . . . . .	52
4.3	Schaltungsentwurf für den IR-Reflexlichttaster . . . . .	53
4.3.1	Der Empfänger in der Übersicht . . . . .	53
4.3.2	Die Transkonduktanzverstärker . . . . .	55
4.3.3	Die Analog-Ground-Versorgung . . . . .	59
4.3.4	Die CMOS-Transmissionsgates . . . . .	61
4.3.5	Simulation der Schaltung . . . . .	62
4.3.6	Layout des Reflexlichttasters . . . . .	63
4.4	Messungen am IR-Reflexlichttaster . . . . .	63
4.4.1	Messung der Transimpedanz . . . . .	64

4.4.2	Messung der Rauscheigenschaften . . . . .	65
4.4.3	Dämpfung von Störsignalen . . . . .	67
4.5	IR-Reflexlichttaster mit Mehrfach-CDS . . . . .	67
4.5.1	OTA mit Hilfeingang . . . . .	67
4.5.2	Transmissionsgates mit Dummy-Kapazitäten . . . . .	69
4.5.3	Schaltung des modifizierten Reflexlichttasters . . . . .	71
4.5.4	Messungen am modifizierten Reflexlichttasters . . . . .	72
<b>5</b>	<b>CDS bei einem Drehmomentsensors</b>	<b>77</b>
5.1	Grundprinzip des Drehmomentsensors . . . . .	78
5.2	Messungen an MAGFETs . . . . .	79
5.2.1	Testchip und Meßaufbau . . . . .	80
5.2.2	Messung der Transferkennlinie . . . . .	82
5.2.3	Messung der Stromdurchkopplung . . . . .	83
5.2.4	Messung der relativen Stromempfindlichkeit . . . . .	84
5.2.5	Messung der Rauscheigenschaften . . . . .	86
5.2.6	Rauschquellen des MAGFETs . . . . .	87
5.2.7	Makromodell für den MAGFET . . . . .	89
5.2.8	Zusammenfassung der MAGFET-Messungen . . . . .	89
5.3	Erreichbare Auflösung und Signalverarbeitung . . . . .	90
5.3.1	Erreichbare Auflösung bei CDS . . . . .	90
5.3.2	Erreichbare Auflösung bei Amplitudenmodulation . . . . .	91
5.4	CDS-Signalverarbeitung für MAGFETs . . . . .	92
<b>6</b>	<b>Selbstkalibrierung an einem Drehmomentsensor</b>	<b>94</b>
6.1	Gleich- und Gegentaktmodus . . . . .	94
6.2	Ratiometrische Signalauswertung . . . . .	97
6.2.1	Eliminierung der Empfindlichkeit der Flußdichtesensoren . . . . .	97
6.2.2	Kennfeldauswertung der Quotienten . . . . .	99
6.2.3	Fehlerfortpflanzung vom Kennfeld zum Quotienten . . . . .	101

---

6.3	Signalverarbeitung für den Drehmomentsensor . . . . .	104
<b>7</b>	<b>AD-Umsetzer mit Division</b>	<b>108</b>
7.1	Prinzip des dividierenden AD-Umsetzers . . . . .	108
7.2	Komparator und Offsetkompensation . . . . .	110
7.3	Switched-Capacitor DA-Umsetzer . . . . .	112
7.4	Übertragungsfunktion der Gesamtschaltung . . . . .	113
7.5	Schaltungsentwurf . . . . .	116
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>119</b>
	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>123</b>
	<b>Betreute Studien- und Diplomarbeiten</b>	<b>125</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>127</b>