

Inhalt

<u>1 Einleitung</u>	1
<u>2 Besonderheiten der kapazitiven Meßtechnik</u>	3
2.1 Einsatzbereiche kapazitiver Sensoren	3
2.2 Kapazitive Sensoren im Vergleich	4
2.3 Systematik kapazitiver Auswerteverfahren	6
2.3.1 Messung aktiver kapazitiver Sensoren	7
2.3.2 Passive Messung kapazitiver Sensoren	9
2.3.3 Trägerfrequenz-Verfahren für kapazitive Differentialsensoren	11
2.3.4 Phasenselektive Messung verlustbehafteter Halbbrücken	12
2.4 Abschirmung und Schutzringelektroden	13
2.4.1 Passive Schirmung	13
2.4.2 Schutzringelektroden	14
2.4.3 Kompensation parasitärer Leitungskapazitäten	14
2.4.4 Kompensation parasitärer Kapazitäten der Meßschaltung	15
2.4.5 Virtueller Massebezug	16
2.5 Analog-Digital-Umsetzung kleiner kapazitiver Meßsignale	17
2.5.1 Schätzverfahren	18
2.5.2 Kompensationsmeßverfahren	19
2.6 Zusammenfassung	20
<u>3 Bauteilanforderungen und prinzipielle Verfahrensabläufe</u>	21
3.0 Feldeffekt-Transistoren	22
3.1 Integrationsfähige Lösung	26
3.1.1 Integrierender ADU für resistive Brücken	26
3.1.2 Ladungswaage für Differentialkondensatoren	28
3.1.3 Einfacher ADU für Differentialkondensatoren	31
3.1.4 Stromquellen	37
3.1.5 Anpasser	39
3.1.6 Fortlaufendes A/D-Umsetzverfahren	41
3.2 Transformatorische Lösung	42
3.2.1 Trägerfrequente Spannungsquellen	42
3.2.2 Parasitäre Kapazitäten und Schirmung	42
3.2.3 Phasenselektiver Analog-Digital-Umsetzer	44
3.2.4 Integrierender ADU mit selbstabgleichender Kompensation	46
3.3 Digitaler Schaltungsteil	47
3.3.1 Anwenderprogrammierbare Logikbausteine	48
3.3.2 Realisierung der Ablaufsteuerungen	49
3.3.3 Meßdatenausgabe	51
3.3.4 Analog/Digital-Interfacebausteine	52
3.4 Zusammenfassung	50

<u>4</u>	<u>Dynamisches Verhalten der vorgestellten Meßverfahren</u>	55
4.1	Konventionen zur Beschreibung diskreter Regelsysteme	55
4.1.1	Kontinuierliche Systeme	55
4.1.2	Diskrete Systeme	56
4.1.3	Kontinuierliche oder diskrete Strecke	57
4.2	Kompensationsverfahren mit "intensiven" Regelgrößen	58
4.2.1	Ohmsche Brückensignale	58
4.2.2	Kapazitive Brückensignale	61
4.2.3	Phasenselektive Trägerfrequenz-Meßbrücke	63
4.2.4	Reglerauslegung	68
4.3	Kompensationsverfahren mit "Zeit" als Regelgröße	70
4.3.1	Regelgröße "Meßperiodendauer"	70
4.3.2	Regelgröße "Mittlere Meßperiodendauer"	74
4.3.3	Regelgröße "Trägerfrequenzperiode"	77
4.4	Überabtastung, "Dither" und Rauschen	81
4.5	Zusammenfassung	84
<u>5</u>	<u>Untersuchung realisierter Schaltungen</u>	85
5.1	Meßtechnische Hilfsmittel	85
5.2	Ladungswaage mit minimalem analogen Schaltungsaufwand	86
5.2.1	Analoger Schaltungsteil	86
5.2.2	Ladungsinjektionen und parasitäre Kapazitäten	87
5.2.3	Ablaufsteuerung und Regelverstärkung	90
5.2.4	Anwendungsbeispiel Feuchtebelagsmessung	96
5.3	Ladungswaage mit bipolaren Stromquellen	98
5.3.1	Analoger Schaltungsteil	98
5.3.2	Einfluß der Reglerverstärkung	101
5.3.3	Adaptive Reglerverstärkung	103
5.3.4	Zusammengesetzte Kennlinien	104
5.3.5	Dynamisches Verhalten	107
5.3.6	Rauschunterdrückung	109
5.3.7	Überabtastung	109
5.4	Trägerfrequenzverfahren mit kombinierter Kompensation/Demod.	112
5.4.1	Analoger Schaltungsaufbau	112
5.4.2	Phasenselektive Demodulation	114
5.4.3	Selbstabgleichender Demodulator	117
5.5	Zusammenfassung der praktischen Untersuchungsergebnisse	122
<u>6</u>	<u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	123

Anhang A	Parasitäre Kapazitäten in Feldeffekttransistoren	118
A.1	Sperrschichtkapazität	125
A.2	Kanalabschnürung	126
A.3	Ersatzschaltbild	127
A.4	Spannungsabhängigkeit	128
A.5	Temperaturabhängigkeit	131
Anhang B	Einfacher Analog-Digital-Umsetzer für Platten-Differentialkondensatoren	132
Anhang C	Opto-Koppler als Stromstellglieder mit geringen parasitären Kapazitäten	136
Anhang D	Potentialdrift der fortlaufenden Ladungswaage	138
	Literaturverzeichnis	144