

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Aufgabenstellung.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Bestehendes analoges RC-Kanalmodell.....	2
1.2 RC-Kettenschaltung der "Ti-TP Kette"	2
2 Theoretische Grundlagen.....	4
2.1 Fourierreihe des periodischen Rechteckimpulszuges.....	4
2.2 Spektrum des periodischen Rechteckimpulses	6
2.3 Periodischer Rechteckimpuls am RC-Tiefpassnetzwerk.....	8
2.4 Zusammenfassung	10
2.5 Periodischer Rechteckimpuls am CR-Hochpassnetzwerk.....	12
3 Untersuchung des bestehenden Systems	13
3.1 Spannungsmessung am Ausgang der "Ti-TP Kette" bei OZ1 bis OZ8.....	13
3.2 Auswirkungen auf das Signalspektrum des periodischen Rechteckimpuls- zuges durch die "Ti-TP Kette" bei OZ1 bis OZ8	14
3.3 Bestimmung der Übertragungsfunktion für die "Ti-TP Kette"	15
3.3.1 Spannungs- / Impedanzanalyse	15
3.3.2 Knotenpotentialanalyse mit "Mathematica 5.0"	19
3.3.3 Morgan-Voyce-Algorithmus	21
3.4 Bestimmung des Amplitudenganges der ermittelten Übertragungsfunktionen mit Matlab zum Vergleich mit der Messung am Modell.....	22
3.5 Berechnung der TP-Grenzfrequenzen und Kontrollmessung.....	24
3.5.1 Mathematische Bestimmung der Grenzfrequenzen.....	24
3.5.2 Vergleichstabelle der ermittelten Grenzfrequenzen	26
3.6 PSpice-Simulation der TP-Amplitudengänge und Vergleichsmessung	26
3.7 Polstellenbestimmung für die "Ti-TP Kette"	28
3.8 Bestimmung der Übertragungsfunktion für die HP-Einsteckkarte	31
4 Planungs- und Entwurfsphase für die digitalen IIR-Filter	32
4.1 Umrechnung der analogen RC-Tiefpassfilter in digitale IIR-Filter	32
4.1.1 Mathematische Bestimmung der digitalen Koeffizienten nach der "bilinearen Transformation"	32
4.1.2 Berechnung nach der "impulsinvarianten Nachbildung"	33
4.1.3 Bestimmung der digitalen Koeffizienten für die "Ti-TP Kette" mit Hilfe von Matlab	34

4.2	Transformation der analogen, aktiven Hochpassfilter in digitale IIR-Filter	36
4.3	Matlab/Simulink Simulation	38
4.4	Digitalfilter allgemein und entsprechende Theorie zur Realisierung	39
4.4.1	Bestimmung des Amplitudenganges für die ermittelten digitalen TP-Filter	39
4.4.2	Bestimmung der Grenzfrequenzen für die digitalen TP-Filter	42
4.4.3	Polstellenermittlung für die digitalen TP-Filter	43
4.5	Theorie zur Filterrealisierung	46
4.6	Berechnungszeit für ein IIR-Filter nach Kap. 4.5 mit einem Mikrocontroller ...	49
5	Lösungs- bzw. Realisierungsansätze für die Nachbildung der "Ti-TP Kette"	51
5.1	In der Diplomarbeit verwendeter Controller (<i>DSP "C6713"</i>)	51
5.1.1	CodeComposerStudio (<i>CCS</i>)	52
5.1.2	Berechnungszeit für ein IIR mit dem "TMS320C6713 DSK-Board" und Programmoptimierungen	52
5.2	Realisierung von IIR-TP-Filtern mit dem "AIC23" on-board-Codec	56
5.3	Realisierung von IIR-TP-Filtern mit dem "ADDA16" (<i>500KHz-Codec</i>)	58
5.4	Synchronisierung von Bitgenerator und Bord	59
5.5	Synchronisierung mit Interrupt-Programm	60
5.6	Anforderungen an eine fertige DSP-Bord Lösung mit Codec	61
6	Realisierung der digitalen "Ti-TP Kette"	62
6.1	Realisierung des Filters ohne AD-Wandler und mit DA-Wandler Eval.-Bord ..	62
6.1.1	Serielle Ansteuerung des DAC	63
6.1.2	Parallele Ansteuerung des DAC per GPIO	63
6.1.2.1	Initialisierung der McBSP Register	65
6.1.2.2	External Interrupts als General-Purpose I/O nutzen	66
6.1.2.3	Programm mit Interrupt und Ausgabe über GPIO-Pins an "J3" ..	67
6.1.3	Parallele Ansteuerung des DA per EMIF	69
6.2	DA-Wandler Evaluationsbord mit AD9752	71
6.2.1	"Unbuffered Voltage Output"-Modus	72
6.2.2	"Unipolar Buffered Voltage Output"-Modus	74
6.3	Realisierung des ITP bzw. Rekonstruktionsfilter	77
6.4	Spannungsversorgung mit dem LM2662	82
6.5	Hochpass	82
7	Realisierungskonzept der "Ti-TP Kette" und HP-Einsteckkarte	85
8	Zusammenfassung	86
	Anhang	87

Literaturverzeichnis	138
Versicherung über die Selbstständigkeit.....	139

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Analoges Kanalmodell mit den nachzubildenden Einsteckkarten	2
Abb. 1.2	Ersatzschaltbild der nachzubildenden RC-Kette und der Einsteckkarte	2
Abb. 1.3	Einsteckkarte "RC-Kette"	3
Abb. 1.4	Anwendungsprinzip des Kanalmodells	3
Abb. 2.1	Periodischer Rechteckimpulszug	4
Abb. 2.2	Überlagerungen der Harmonischen zum periodischen Rechteck	6
Abb. 2.3	Spektrum eines periodischen Rechteckimpulses.....	6
Abb. 2.4	Gemessenes Spektrum des periodischen Rechtecks am Generatorausgang	7
Abb. 2.5	Periodischer Rechteckimpulszug	8
Abb. 2.6	Veranschaulichung der Entstehung eines Rechteckimpulses	9
Abb. 2.7	Ausgangsspannung am RC-Netzwerk mit unterschiedlichen Zeitkonstanten	10
Abb. 2.8	Abgebrochene Fourierreihendarstellung des periodischen Rechteckimpulses	10
Abb. 2.9	Gleichanteil und die ersten 7 Harmonischen	10
Abb. 2.10	Ausgangssignal des RC-Tiefenpasses	11
Abb. 2.11	Gleichanteil und die ersten 7 Harmonischen	11
Abb. 2.12	Ausgangssignal des CR-Hochpasses und die ersten 7 Harmonischen	12
Abb. 3.1	Ausgangssignal "Ti-TP Kette" bei OZ1 und Eingangssignal	13
Abb. 3.2	Ausgangssignal und Takt vom Wortgenerator.....	13
Abb. 3.3	Ausgangssignal der "Ti-TP Kette" bei OZ2 und bei OZ6.....	13
Abb. 3.4	Signalspektrum am Eingang der "Ti-TP Kette"	14
Abb. 3.5	Signalspektrum am Ausgang der "Ti-TP Kette" bei OZ1	14
Abb. 3.6	Signalspektrum am Eingang der "Ti-TP Kette" und am Ausgang bei OZ1	14
Abb. 3.7	RC-Glied 1.Ordnung	15
Abb. 3.8	RC-Glied 2.Ordnung	15
Abb. 3.9	RC-Glied 3.Ordnung	16
Abb. 3.10	RC-Glied 2.Ordnung mit Spannungsquelle und mit gewandelten Quellen.....	19
Abb. 3.11	Darstellung des Koeffizienten des Morgan-Voyce-Polynoms als TriangularArray21	
Abb. 3.12	Messung des Frequenzganges der "Ti-TP Kette" bei OZ5 mit dem FSP3.....	22
Abb. 3.13	Messaufbau mit FSP3	22
Abb. 3.14	Simulation des Amplitudenganges der ermittelten Übertragungsfunktion mit Matlab für OZ1 bis OZ4.....	23
Abb. 3.15	Messung des Amplitudenganges der "Ti-TP Kette" mit FSP3 für OZ1 bis OZ4 ...	23
Abb. 3.16	PSpice-Schaltung der RC-Kette für OZ8.....	26
Abb. 3.17	Ergebnis der PSpice-Simulation für OZ1 bis OZ4 und Vergleichsmessung	27

Abb. 3.18	Ergebnis der Pspice-Simulation für OZ5 bis OZ8 und der Vergleichsmessung	27
Abb. 3.19	Pol-/Nullstellenplan als 3D-Grafik für OZ2	28
Abb. 3.20	Pol-/Nullstellenplan für OZ3	29
Abb. 3.21	HP 1.Ordnung	31
Abb. 4.1	Eingangssignal z.B. mit $T_0=31,25\mu s$	33
Abb. 4.2	RC-Glied 1.Ordnung	33
Abb. 4.3	Simulink-Simulation der analogen TP und der ermittelten digitalen TP für OZ2	38
Abb. 4.4	Rechteckantwort.....	38
Abb. 4.5	Amplitudengang digitaler TP.....	39
Abb. 4.6	Amplitudengang digitaler TP OZ1 und das analoge Filter OZ1	40
Abb. 4.7	Amplitudengang digitaler TP OZ2 und analoger TP zum Vergleich.....	41
Abb. 4.8	Amplitudengang digitaler TP OZ2 und analoger TP zum Vergleich/Ausschnitt ..	41
Abb. 4.9	Pol-/Nullstellenplan für den digitalen TP OZ1	43
Abb. 4.10	Pol-/Nullstellenplan für OZ2 als 3D-Grafik mit Einheitskreis	43
Abb. 4.11	Polstellenplan für den ermittelten digitalen Filter 6.Ordnung	45
Abb. 4.12	Koeffizientenkonstellation für reellwertige Systeme 2.Ordnung.....	45
Abb. 4.13	Filternetzwerk für transversales Filter 2.Ordnung	46
Abb. 4.14	Rein rekursives Filternetzwerk	47
Abb. 4.15	Allgemeine Übertragungsfunktion 2.Ordnung	47
Abb. 4.16	Umsetzung der drei Teilgleichung	48
Abb. 4.17	StaVer40 Bord mit μC AltMega32	49
Abb. 4.18	Struktogramm für die Ermittlung der Berechnungszeit mit StaVer40 Bord	49
Abb. 5.1	Das komplette Starter-Kit (DSK) für den TM320C6713 DSP	51
Abb. 5.2	“Circular Buffer“.....	56
Abb. 5.3	Prinzipschaltbild des Testaufbaus mit Codec	57
Abb. 5.4	Einfluss des digitalen Filters (OZ2) mit 12-fach Oversampling und Messung	57
Abb. 6.1	Prinzipschaltbild des geplanten Kanalmodells.....	62
Abb. 6.2	DAC mit serieller Ansteuerung.....	63
Abb. 6.3	DAC mit paralleler Ansteuerung.....	64
Abb. 6.4	Initialisierung der McBSP-Pins als GPIO-Pins.....	65
Abb. 6.5	Funktionsblock Diagramm.....	66
Abb. 6.6	Initialisierung der ext. Interrupt-Pins als GPIO-Pins	67
Abb. 6.7a	Struktogramm für GPIO-Programm	67
Abb. 6.7b	Struktogramm für GPIO-Programm.....	68
Abb. 6.8	Programmoptimierung 1	68
Abb. 6.9	Programmoptimierung 2	68

Abb. 6.10	Programmausschnitt mit EMIF -Initialisierung	69
Abb. 6.11	EB-9752	71
Abb. 6.12	Zeitliches Ablaufdiagramm zur Ansteuerung des "AD9752"	72
Abb. 6.13	OV bis 1V "Unbuffered Voltage Output"	72
Abb. 6.14	50Ω -SMA-Stecker	73
Abb. 6.15	Vergleichsmessung des analogen mit dem digitalen Filter.....	73
Abb. 6.16	Ausgangssignalebenen im "Unbuffered Voltage Output"-Modus	74
Abb. 6.17	"Unipolar Buffered Voltage Output"	74
Abb. 6.18	Vergleichsmessung des zu interpolierenden Signals.....	75
Abb. 6.19	Inverterschaltung	76
Abb. 6.20	Darstellung der zu interpolierenden Stufen	76
Abb. 6.21	Darstellung der zu interpolierenden Stufen mit großer Auflösung	76
Abb. 6.22	Interpoliertes Signal.....	77
Abb. 6.23	Verstärkungsbandbreiteprodukt des TL074.....	77
Abb. 6.24	ITP mit TL074.....	78
Abb. 6.25	Amplitudengang des ITP0	78
Abb. 6.26	Ausgangssignal vor dem ITP	79
Abb. 6.27	Messung der digitalen IIR-Filter	79
Abb. 6.28	Interpoliertes Ausgangssignal	80
Abb. 6.29	Übersichtsplan des Testaufbaus für die "Ti-TP Kette"	81
Abb. 6.30	HP-Algorithmus 2. Ordnung.....	82
Abb. 6.31	"Unipolar Buffered Voltage Output" Modus mit Offset	83
Abb. 6.32	"Single Supply DC Differential" Modus	83
Abb. 7.1	Verarbeitungskette für das digitale Kanalmodell.....	85
Abb. 8.1	Benutzeroberfläche für das digitale Kanalmodell.....	85

Anhang

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

Inhaltsverzeichnis des Anhangs	87
Anhang A Anhang zu Kapitel 1	88
A.1 Kanalnachbildung	88
A.2 Ersatzschaltbild der "Ti-TP Kette"	92
Anhang B Anhang zu Kapitel 2.....	93
B.1 Ersatzschaltbild der Einsteckkarte "HP"	93
Anhang C Anhang zu Kapitel 3.....	94
C.1 Messergebnisse der "Spannungsmessung am Ausgang der "Ti-TP Kette" bei OZ1 bis OZ8"	94
C.2 Auswirkungen auf das Signalspektrum des periodischen Rechtecks durch die "Ti-TP Kette" bei OZ1 bis OZ8	95
C.3 Spannungs- / Impedanzanalyse für OZ4 und OZ5.....	96
C.4 Knotenpotentialanalyse.....	97
C.5 Bestimmung des Amplitudenganges der ermittelte Übertragungsfunktionen mit Matlab zum Vergleich mit der Messung am Modell	100
C.6 Bestimmung der Grenzfrequenz ab OZ4	101
C.7 Messung des Amplitudenganges mit dem Audioanalysator.....	103
Anhang D Anhang zu Kapitel 4	105
D.1 Bestimmung der Übertragungsfunktion mit Hilfe von Matlab.....	105
D.2 Ermittelte Koeffizienten für ein digitales IIR-Filter	105
D.3 Testprogramm für ein IIR-Filter mit Umspeichern und Erklärungen	106
D.4 Testprogramm für ein IIR-Filter ohne Umspeichern mit dem ATmega32	107
Anhang E Anhang zu Kapitel 5.....	108
E.1 Testprogramm für ein IIR-Filter mit dem "TMS320C6713 DSK-Board"	108
E.2 Realisierung der "Ti-TP Kette" mit dem "AIC23" on-board-Codec	109
E.3 Realisierung eines IIR-Filters mit dem "ADDA16" Aufsteckmodul	113
E.4 Johnson Counter	114
E.5 Angebote der Firma GBM	115
E.6 Verwendete Wandler-ICs und Bauteile	117
Anhang F Anhang zu Kapitel 6.....	118
F.1 "J3" Connector.....	118
F.2 Register zur Initialisierung der McBSP-Pins als GPIO	119
F.3 Register zur Initialisierung der externen Interrupts-Pins als GPIO	120
F.4 GPIO-Programm mit Ausgabeoptimierungen	122
F.5 "J4" EMIF-Connector	126
F.6 Schaltbild des EB-9752.....	127
F.7 Active Filter Design Tool.....	128
F.8 EMIF-Register	129
Anhang H CD mit elektronischer Ausführung der Diplomarbeit	in der Rückseite

Quellenverzeichnis

- [1] Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Micheel: Unterlagen zum Praktikumsversuch “Entzerrung von Digitalsignalen“ (*Versuch 56*), 22.04.2002
- [2] Werner, Martin: Nachrichtentechnik, Vieweg Verlag, 4. Auflage 2003, ISBN: 3-528-37433-0
- [3] Müller-Wichards, Dieter: Transformationen und Signale, B.G. Teubner Verlag, 1999, ISBN: 3-519-02742-9
- [4] Kröger, Peter; Gerdson, Peter: Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragung, Springer Verlag, 2. Auflage 1997, ISBN: 3-540-61194-0
- [5] Görth, Joachim: Bauelemente und Grundschaltungen, B.G. Teubner Verlag, 1999, ISBN: 3-519-06258-5
- [6] Chassaing, Rulph: Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK, Wiley-Interscience Verlag, 2005, ISBN: 0-471-69007-4
- [7] Tietze / Schenk: Halbleiterschaltungstechnik, Springer Verlag, 2002, ISBN: 978-3-540-42849-7
- [8] Lancaster, Don: Das Aktiv-Filter-Kochbuch, IWT Verlag, 1982, ISBN: 3-88322-007-8
- [9] Kammermeyer, Karl-Dirk; Kroschel, Kristian: Digitale Signalverarbeitung, Teubner Verlag, 2006, ISBN: 3-8351-0072-6
- [10] Morgan-Voyce Algorithmus
<http://mathworld.wolfram.com/Morgan-VoycePolynomials.html> (16.12.2007)
<http://www.research.att.com/%7Enjas/sequences/table?a=85478&fmt=312>
- [11] spru190d.pdf, sprs266e.pdf, spra186l.pdf, TMS320C6713techref .pdf, Programming reference
§install dir (Hilfeordner der installierten CCS Version)
- [12] AD9764, AD5444, AD9752, EB-9752, AD8047, AD9765, AD9774
<http://www.analog.com/en/subCat/0,2879,761%255F795%255F0%255F%255F0%255F,00.html> (11.10.07)
- [13] Active Filter Design Tool
http://www.analog.com/Analog_Root/static/techSupport/designTools/interactiveTools/filter/filter.html (10.11.2007)
- [14] TMS320C6000 EMIF calculator
<http://www.dsigt.de/support/tools/c6000emif.html> (23.10.07)