

## Inhaltsverzeichnis

Formalistische Definition der Laplace- Transformation.....	1
Veranschaulichung des Laplaceschen Grundintegrals .....	2
Präsentation der Sätze und anderen Lösungsmethoden zur Ermittlung von Laplace-Transformierten .....	5
Berechnungen von Laplace-Transformierten .....	8
Laplace-Transformierte der Sinusfunktion .....	10
Andere Darstellung einer Sinusfunktion als Laplace-Transformierte.....	11
Ähnlichkeitssatz .....	12
Zweiter Verschiebe- oder Dämpfungssatz .....	14
Laplace-Transformierte einer Stammfunktion $F(t)$ .....	15
Kapazitiver Widerstand ( Kondensator ) dargestellt als Laplace-Transformierte Impedanz $Z_C$ .....	17
Integrationsatz für die Bildfunktion $F(p)$ .....	18
Erster Verschiebesatz .....	22
Laplace-Transformation der verschobenen cos-Funktion ....	24
Ableitung der Formel für periodische Funktionen $f(t)$ ....	25
Laplace-Transformierte der periodischen Rechteckspannung .....	27
Laplace-Transformierte der periodischen Dreieckspannung .....	30
Laplace-Transformierte spezieller Funktionen der Zeit ...	35
Gaussches Fehlerintegral .....	55
Laplace-Transformierte von Besselfunktionen .....	39
Integraldarstellung für die Besselfunktion $I_0(t) = J_0(it)$ .....	42
Korrespondenztabelle für Laplace-Transformierte .....	47
Rücktransformation der Bildfunktion $F(p)$ in den Zeitbereich $f(t)$ .....	56
Veranschaulichung des inversen Laplace-Integrals .....	57
Konforme Abbildung einer Funktion von $z$ trans- formiert in die $p$ -Ebene .....	60
Veranschaulichung der Bildfunktion $F(p)$ in der $p$ -Ebene ..	62
Pole der Funktion $F(p)$ .....	64
Integration längs der reellen Achse .....	66
Integration einer Funktion $F(p)$ in der $p$ -Ebene .....	68
Integration um eine Polstelle $p = a$ .....	69
Integration längs eines Weges, der keine Polstelle $p = a$ einschließt .....	70

Residuen .....	72
Anwendung des inversen Laplace-Integrals .....	80
Rücktransformation einer Arkustangensfunktion von $p$ in den Zeitbereich von $t$ mit Hilfe des inversen Laplace-Integrals .....	86
Eine wichtige Formel zur Rücktransformation einer Bildfunktion $F(p)$ in den Zeitbereich $f(t)$ .....	90
Differentiationsatz für die Bildfunktion $F(p)$ .....	92
Rücktransformation einer komplizierten Logarithmus- naturalisfunktion von $p$ in den Zeitbereich von $t$ mit Hilfe des obigen Differentiationsatzes.....	93
Partialbruchzerlegung .....	96
Faltungsintegral .....	100
Laplace-Transformierte für die Ableitung einer Zeitfunktion $f(t)$ .....	105
Induktiver Widerstand ( Spule ) dargestellt als Laplace-Transformierte Impedanz $Z_L$ .....	109
Rechenbeispiel einer schwierigen gewöhnlichen linearen inhomogenen Dgl der dritten Ordnung, die mit Hilfe der Laplace-Transformation gelöst wird .....	110
Verhalten von $f(t)$ und $F(p)$ bei Null und Unendlich.....	112
Anwendung der Laplace-Transformation auf elektrische Schaltungen .....	114
Rechenbeispiel eines elektrischen stationären Schaltkreises mit $R$ , $L$ und $C$ .....	116
Einschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $L$ .....	119
Abschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $L$ .....	123
Einschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $C$ .....	125
Abschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $C$ .....	128
Einschaltvorgang an einer Gruppenschaltung von $R$ und $C$ .....	130
Einschaltvorgang an einer Gruppenschaltung von $R$ , $C$ und $L$ ..	134
Einschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $C$ mit angelegter komplizierter Eingangsspannung .....	139
Einschaltvorgang eines vermaschten geschlossenen Netzwerks .....	145
Induktive Kopplung zweier Schwingkreise .....	152
Ergänzungen zur Laplace-Transformierten einer Stamm- Funktion $F(t)$ .....	163
Einschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R$ und $C$ , wobei eine Spannung $u$ an $C$ auftritt, bevor der Einschalter $S$ eingelegt wird.....	164
Anwendung der Laplace-Transformation als ideale und all- gemeinste Berechnungsmethode von elektrischen Schalt- kreisen.....	166
Einschaltvorgang an einer Reihenschaltung von $R, C$ und $L$ mit angelegter sinusförmiger Spannung.....	175

Berechnungen und Analysen von Netzwerken .....	182
Einteiliges RC-Netzwerk als Tiefpaß .....	190
Zweiteiliges RC-Tiefpaßfilter .....	194
Dreiteiliges RC-Tiefpaßfilter .....	199
Bode- Diagramm für RC-Tiefpaßfilter n-ter Ordnung.....	204
RC- Tiefpaßfilter als Spannungsintegrator.....	208
Bode- Diagramm des Butterworth- Tiefpaßfilters der Ordnung $n = 2$ .....	209
Bode- Diagramm der Butterworth- Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 1$ bis $n = 5$ .....	214
Gesetzmäßigkeiten zur Erstellung von Dämpfungskurven von Butterworth-Tiefpaßfiltern beliebiger Ordnung.....	215
Berechnung eines komplizierten Netzwerks .....	217
Vereinfachte Lösungsmethode von Kettenleitern n-ter Ordnung mit identischen Gliedern .....	224
Allgemeine Koeffiziententabelle für eine zehnteilige Kettenschaltung mit identischen Gliedern .....	226
Übertragungsfunktionen von Kettenleitern.....	227
Vereinfachte Lösungsmethode von Kettenleitern der Ordnung $n = 5$ mit nichtidentischen Gliedern.....	231
Analyse einer komplizierten Kettenschaltung. $U_A / U_E$ dargestellt in Betragsform .....	236
Ermittlung der Übertragungsfunktion eines komplizierten Netzwerks .....	238
Ermittlung des Übertragungswiderstands der Leitung und der Eingangsimpedanz eines komplizierten Netzwerks.....	241
Netzwerk-Synthese .....	245
Konstruktionen eines Butterworth-Tiefpaßfilter-Systems der Ordnungen $n = 1$ bis $n = 10$ normiert für einen 3dB Abfall bei der Grenzfrequenz $\omega_0 = 1$ .....	245
Ermittlung des 3dB-Punktes bei der Grenzfrequenz $\omega_0 = 1$ .....	246
Tabelle der Dämpfungswerte für Butterworth-Tiefpaßfilter $n = 1$ bis $n = 10$ bei $w = 2$ $\hat{=}$ dB/Oktave .....	247
Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 1$ .....	248
Definition des Durchlaß- und des Sperrbereichs von Filtern...	252
Butterworth- Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ .....	256
"                    "          " $n = 3$ .....	259
"                    "          " $n = 4$ .....	263
"                    "          " $n = 5$ .....	267

Erläuterung zur Findung der Lage der Polstellen in der p-Ebene von Butterworth-Funktionen .....	274
Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 6$ .....	278
"                    "          "          " $n = 7$ .....	283
"                    "          "          " $n = 8$ .....	288
"                    "          "          " $n = 9$ .....	292
"                    "          "          " $n = 10$ .....	299
Modifizierte Butterworth-Tiefpaßfilter .....	307
Butterworth-Hochpaßfilter entwickelt aus den gezeigten Tiefpaßfiltern durch Variablentransformation von p .....	314
Tiefpaß-Bandpaßstransformation ( Butterworth ) .....	316
Tiefpaß-Bandsperrentransformation ( Butterworth ) .....	325
Vorbereitende Überlegungen zur Konstruktion von aktiven Butterworth-Tiefpaßfiltern .....	350
Konstruktionen von aktiven Butterworth-Tiefpaßfiltern der Ordnung $n = 2$ bis $n = 6$ .....	334
Aktives Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ .....	334
"                    "          "          " $n = 3$ .....	337
"                    "          "          " $n = 4$ .....	338
"                    "          "          " $n = 5$ .....	339
"                    "          "          " $n = 6$ .....	341
Aktive Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 7$ bis $n = 12$ , aufgezeigt nach einem noch weiter vereinfachten Lösungsverfahren zur Bestimmung der Werte von C .....	343
Aktives Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 7$ .....	343
Wertetabellen der aktiven Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnungen $n = 8$ bis $n = 10$ .....	345
Vergleich des aktiven - zum passiven Butterworth- Tiefpaßfilters $n = 11$ , hinsichtlich der Ermittlung zur Bestimmung der reaktiven Elemente.....	346
Aktives Butterworth- Tiefpaßfilter $n = 12$ .....	350
Aktive Butterworth- Hochpaßfilter $n = 2$ bis $n = 12$ .....	353
Allgemeingültige Berechnungsformeln für aktive Butterworth- Tief - und Hochpaßfilter ( $3\text{dB}$ bei $f_0$ ).....	355
Dimensionierung von individuellen aktiven Butterworth-Tief- und Hochpaßfiltern höherer Ordnung mit Hilfe der allgemeinen Berechnungsformeln.....	359
Aktives Butterworth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ mit Einfachmitkopplung für den Einsatz im MHz- Bereich.....	380
Aktives Tiefpaßfilter mit Mehrfachgegenkopplung der Ordnung $n = 2$ .....	365

Bessel- Tiefpaßfilter.....	367
Konstruktion eines Bessel-Tiefpaßfilters der Ordnung $n = 2$ ..	372
"      "      "      "      "      " $n = 3$ ...	375
Direktvergleich von Bessel-Tiefpaß- mit Butterworth-Tiefpaßfiltern bezüglich einer normierten 3dB Grenzfrequenz bei $w_0 = 1$ .....	378
Passives Bessel- Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ , normiert für 3dB bei $w_0 = 1$ .....	381
Aktives Tiefpaßfilter $n = 2$ normiert für 3dB bei $w_0 = 1$ .....	382
Andere Darstellung des Bessel- Tiefpaß .....	384
Lage der Polstellen der Bessel- Tiefpaßfilter.....	388
Aktive Bessel- Tief- und Hochpaßfilter ( 3dB bei $w_0 = 1$ ) ...	389
Allgemeingültige Berechnungsformeln für aktive Bessel-Tief- und Hochpaßfilter ( 3dB bei $w_0 = 1$ ).....	390
Charakteristische Unterscheidungen, Butterworth-Bessel- und Tschebyscheff- Tiefpaßfilter.....	392
Butterworth-Tiefpaßfilter.....	392
Bessel-Tiefpaßfilter.....	393
Prozentuale Gegenüberstellung der Filtertypen Butterworth-Bessel-Tschebyscheff, bezüglich des Überschwingens ihrer Sprungantworten.....	394
Tschebyscheff-Tiefpaßfilter.....	395
Tschebyscheffsche Dgl. mit ihren daraus resultierenden Polynomen $T_n(w)$ .....	396
Verläufe der Tschebyscheff-Polynome.....	397
Tschebyscheff-Funktion für Netzwerk-Synthese.....	397
Lage der Polstellen von Tschebyscheff-Tiefpaßfiltern.....	399
Physikalische Übertragungsfunktionen $w(p)$ mit der Welligkeit $\epsilon = 0,2$ und $\epsilon = 0,5$ .....	402
Direktvergleich von Tschebyscheff-Tiefpaßfiltern mit Butterworth- und Bessel-Tiefpaßfiltern bezüglich einer normierten 3dB Grenzfrequenz bei $w_0 = 1$ .....	403
Passive Tschebyscheff-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ und $n = 3$ ( 3dB bei $w_0 = 1$ ) Welligkeit: 0,5dB und 3dB.....	405
Aktive Tschebyscheff-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ bis $n = 6$ ( 3dB bei $w_0 = 1$ ) Welligkeit: 0,5dB.....	408
Allgemeingültige Berechnungsformeln für aktive Tschebyscheff- Hoch- und Tiefpaßfilter ( 3dB bei $f_0$ ) Welligkeit: 0,5dB.....	409
Aktive Tschebyscheff-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 2$ bis $n = 6$ ( 3dB bei $w_0 = 1$ ) Welligkeit: 3dB.....	411

Allgemeingültige Berechnungsformeln für aktive Tschebyscheff-Hoch und Tiefpaßfilter ( 3dB bei $f_0$ )	
Welligkeit: 3dB.....	412
Koeffizienten-Tabellen von Übertragungsfunktionen $w(p)$ der aufgezeigten drei Filter-Typen Butterworth- Bessel- und Tschebyscheff.....	414
Frequenzweichen mit passiven- und aktiven Butterworth- und Besselfunktionen.....	418
Passive Butterworth-Filter-Frequenzweiche der Ordnung $n = 1$ mit einem Dämpfungsverlauf von 6dB/Oktave.....	418
passive Butterworth-Filter-Frequenzweiche der Ordnung $n = 2$ mit einem Dämpfungsverlauf von 12dB/Oktave.....	423
Passive Bessel-Filter-Frequenzweiche der Ordnung $n = 2$ mit einem Dämpfungsverlauf von 6,14 dB/Oktave.....	426
Dreizeige-Frequenzweiche mit passiven Filtern für einen Dämpfungsverlauf von 12dB/Oktave ( Butterworth $n = 2$ ).....	428
Aktive Filter-Frequenzweichen mit Butterworth-Charakteristik .....	434
Aktive Butterworth-Filter-Frequenzweiche der Ordnung $n = 2$ ( 12dB/Oktave ).....	434
Aktive Dreizeige-Frequenzweiche der Ordnung $n = 2$ Butterworth 12dB/Oktave.....	436
Phasenkompensation einer aktiven Zweizeige-Frequenzweiche...	439
Dreiteiliger verzögerter RC-Phasenschieber-Oszillator.....	449
Wien- Brückenoszillator.....	459
Gedanken zur Erfassung von impulsähnlichen Signalen, deren analoge Meßwerte in digitale Information umgesetzt wird ....	465
Integration einer Eingangsspannung $U_E(t)$ mit niedrigem Verstärkungsgrad.....	474
Differentiation einer Eingangsspannung $U_E(t)$ mit niedrigem Verstärkungsgrad.....	477
Grundschialtung eines invertierenden Op's.....	481
Veranschaulichung der Rückkopplung (Gegenkopplung).....	484
Einfachere Methode der Integration sowie der Differentiation einer Eingangsspannung $U_E(t)$ unter Verwendung eines Op.....	488
Der nichtinvertierende Op.....	490
Op als Differenzverstärker.....	492
Op als Subtrahierer .....	496
Filter der Ordnung $n = 2$ als Konfigurationsbaustein für alle Filterarten höherer Ordnung .....	498

Allpaßfilter.....	505
Tabelle für Allpaßkoeffizienten mit maximal flacher Gruppenlaufzeit .....	509
Veranschaulichung der normierten Gruppenlaufzeit $T_{Gr0}$ .....	510
Aktives Allpaßfilter der Ordnung $n = 1$ .....	512
Aktives Allpaßfilter der Ordnung $n = 2$ .....	513
Aktives Allpaßfilter der Ordnung $n = 3$ .....	515
Auszüge aus der Netzwerksynthese für passive Netzwerke.....	517
Reaktanzzweipol und daraus resultierende Partialbruch- schaltungen nach der 1. und 2. Foster- Form .....	517
Realisierung einer Reaktanzfunktion $Z_{IC}$ in das physi- kalische Netzwerk nach der 1. Foster- Form .....	522
Realisierung der dazugehörigen Suszeptanzfunktion $Y_{IC}$ nach der 2. Foster- Form .....	524
Allgemeiner Verlauf einer Reaktanzfunktion über $w$ .....	525
Realisierung der RC- Impedanz- Und RC- Admittanz- Funk- tino nach der 1. und 2. Foster- Form .....	526
Beispiele für beide $Z_{RC}(p)$ und $Y_{RC}(p)$ Realisierungen .....	529
Realisierung der RL- Impedanz- und RL - Admittanz- ( Suszeptanz-)- Funktion nach der 1. und 2. Foster- Form ...	532
Beispiele für beide $Z_{RL}(p)$ und $Y_{RL}(p)$ Realisierungen .....	535
Allgemeiner Verlauf der Impedanz- und Admittanz- Funk- tionen $Z_{RC} ( Y_{RL} )$ und $Z_{RL} ( Y_{RC} )$ .....	538
Realisierung der vorher gezeigten Funktionen nach Cauer ( Kettenbruchsaltungen ) .....	539
Reaktanzfunktionen $Z_{IC}(p)$ 1. und 2. Cauer- Form .....	540
Realisierung einer $Z_{IC}$ Reaktanzfunktion in ein physi- kalisches Netzwerk nach der 1. Cauer- Form .....	543
Netzwerksynthese unter Mithilfe der allgemeinen Leistungs- bilanzformel eines Tiefpaßfilters ( Modifiziertes Butter- worth-Tiefpaßfilter der Ordnung $n = 3$ ) .....	546
Realisierung einer $Z_{IC}$ Reaktanzfunktion in ein physi- kalisches Netzwerk nach der 2. Cauer- Form .....	552
Realisierung der RC- und RL- Impedanz- und Admittanz- Funk- tionen $Z_{RC}(p)$ ( $Y_{RL}(p)$ ) und $Z_{RL}(p)$ ( $Y_{RC}(p)$ ) nach der 1. und 2. Cauer- Form .....	555
Realisierung der RC- Impedanz- und RC-Admittanz- Funktion in ein physikalisches Netzwerk nach der 1. und 2. Cauer- Form .....	558
$Z_{RCL}$ - Impedanzfunktion.....	562
Netzwerk- Synthese nach dem Brune-Verfahren.....	567
Minimum- Impedanzfunktion .....	567
Minimum- Suszeptanzfunktion.....	574
Duale Netzwerke .....	581

Anwendung der höheren Ableitungen von Laplace- Transformierten.....	585
Transformation einer komplizierten Zeitfunktion $f(t)$ in den Bildbereich $F(p)$ .....	585
Netzwerke mit steuerbaren Elementen $C(t)$ und $R(t)$ .....	587
Netzwerk mit steuerbarem Kondensator $C(t)$ .....	590
RCL - Netzwerk mit steuerbarem Widerstand $R(t)$ .....	592
Reihenschaltung von RCL mit gesteuertem Widerstand $R(t)$ .....	594
LC- Schwingkreis mit gesteuerter Kapazität $C(t)$ . Die Lösung ist vorgenommen, durch Reihenentwicklung.....	597
Reihenschaltung von RCL mit gesteuertem Widerstand $R(t)$ . Lösung durch Reihenentwicklung.....	602