-		
For	rmelsammlung	
A C:	Ayham Alhalaibi gnale und Systeme	
518	gnale und Systeme	
26	5. Dezember 2021	

1.1 Signalcharakterisierung 1.2 Elementarsignale 2.2 Elementarsignale 2.3 Elementarsignale 2.4 Elementarsignale 2.5 Elementarsignale 2.6 Elementarsignale 2.7 Elementarsignale 2.8 Eventuragang & Übertrugungsfunktion 2.9 Elementare Übertragungsfunktion 2.0 Elementare Übertragungsfunktion 2.1 Elementare Übertragungsfledern 2.2 Elementare Übertragungsgledern 2.3 Eventuragerisierung 2.4 Elementare Übertragungsgledern 2.7 Bode Diagramm 3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Parameterumrechnung 3.2 Zusammenschaften von Zweitoren 3.3 Zweitore elementarer Zweitore 3.3 Zweitore elementarer Zweitore 3.3 Zweitore elementarer Zweitore 3.3 Zweitore Eigenschaften 3.5 Zweitore estaschaltung 3.5 Egesteuerte Quellen 3.5 Ersatzschaltülder 3.6 Eschaltete Zweitore 3.6 Eschalter Zweitore 3.6 Eschalter Zweitore 3.6 Eschalter Zweitore 4.1 Eventurals Zweitore 4.2 Komplexe Fouriertelle 4.1.1 Komplexe Fouriertelle 4.1.2 Komplexe Fouriertelle 4.1.3 Talbwellensymmetrie 4.1.4 Fouriertrasformation 4.6 Elementarion 4.7 Limplie und Sprungantori in Bildbereich 4.7 Limplie und Sprungantori in Bildbereich 4.8 Espensahren Laplace Trunsformation 4.9 Laplacetransformation 5	lr	Inhaltsverzeichnis						
1.1 Signalcharakterisierung	1	Sign	nale im Zeitbereich					
2 Systeme		_						
2.1 Eigenschaften		1.2						
2.1 Eigenschaften	2	C '						
2.2 LTT-Systeme (Linear time invariant Systems) 2.2.1 Ein' Ausgangsbeziehung 2.2.2 Faitung 2.2.2 Faitung 2.3 Frequencyang & Übertragungsfunktion 2.3.1 Pegel 2.4 Pole und Nutertingungsglieder 2.5 Elementare Übertragungsglieder 2.6 Zusammenschaften von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 2.7 Bode Diagramm 2.8 December 2.8	2	-						
2.2.1 Ein/Ausgangsbeziehung 2.2.2 Faltung 2.3 Frequenzgang & Übertragungsfunktion 2.3.1 Pegel 2.4 Pole und Nulkstellen 2.5 Elementare Übertragungsglieder 2.6 Zusammenschalten on Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1.1 Parameterumrechnung 3.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Tennverstärker 3.3.2 Trenbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Eisatzschaltbilder 3.6.3 Eisatzschaltbilder 3.6.4 Eingangsimpedanz 3.6.5 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Eisatzgelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungssappassung 3.6.6 Kettenwiderstallung im Frequenz und Bildbereich 4.1 Forterreibe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreibe 4.1.2 Komplexe Fourierreibe 4.1.3 Komplexe Fourierreibe 4.1.4 Symmetrieejgenschaften 4.1.5 Pourierreibe periodischer Signale								
2.4 Pole und Nullstellen 2.5 Elementare Übertragungsglieder 2.5 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechnung 2.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Trennverstärker 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorrestzschaltung 5.5 Zweitorrestzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Fraatzschaltulder 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzuelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Pourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreiche 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeginsschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kengrößen periodischer Signale 4.1.7 Fourierreihe Laplace Transformation 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 1.4		2.2	2.2.1 Fin-/Ausgangsbeziehung					
2.4 Pole und Nullstellen 2.5 Elementare Übertragungsglieder 2.5 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechnung 2.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Trennverstärker 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorrestzschaltung 5.5 Zweitorrestzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Fraatzschaltulder 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzuelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Pourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreiche 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeginsschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kengrößen periodischer Signale 4.1.7 Fourierreihe Laplace Transformation 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 1.4			2.2.2 Faltung					
2.4 Pole und Nullstellen 2.5 Elementare Übertragungsglieder 2.5 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechnung 2.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Trennverstärker 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorrestzschaltung 5.5 Zweitorrestzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Fraatzschaltulder 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzuelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Pourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreiche 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeginsschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kengrößen periodischer Signale 4.1.7 Fourierreihe Laplace Transformation 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 1.4		2.3	Frequenzgang & Übertragungsfunktion					
2.5 Elementare Ubertragungsglieder 2.6 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3.1 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechnung 3.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Ternnverstärker 3.3.2 Irotredingungen 3.3.1 Tennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzuelle 3.6.3 Ersatzuelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsappassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsappassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.6.7 Kettenwiderstand 4.7 Fourierreihe 4.1.1 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Komplexe Fourierreihe 4.1.5 Komplexe Fourierreihe 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LIT-Systeme 4.1.5 Figenschaften 4.1.5 Figenschafte								
2.6 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern 2.7 Bode Diagramm 3.1 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1.1 Parameterumrechnung 3.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3 Matrizen elementarer Zweitore 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gestenerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedauz 3.6.2 Ausgangsimpedauz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Roule Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7								
2.7 Bode Diagramm								
3 Zweitore - Vierpoltheorie 3.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechung 3.2 Insammenschafter von Zweitoren 3.3.2 Matrizen elementarer Zweitore 3.3.1 Trennversärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften 3.5.2 Zweitor Eigenschaften 3.5.2 Zweitoresatzschaftung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaftbilder 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ersatzschaftbilder 3.6.2 Ersatzschaftbilder 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1.1 Rourierreihe periodischer Signale 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Komplexe Fourierreihe 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreinsomation 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreinsomation 4.6.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.6.1 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6.2 Rücktransformation 4.6.3 Rücktransformation 4.6.4 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6.2 Rücktransformation 4.6.3 Rücktransformation 4.6.4 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6.5 Rücktransformation 4.6.6 Rücktransformation 4.6.7 Impulse und Sprungantwort im Bildbereich 4.7 Impulse und Sprungantwort im Bildbereich 4.7 Impulse und Sprungantwort im Bildbereich 5.1.1 Leplacetransformation der Diifferentialgleichung 5.1.1 Leplacetransformation der Diifferentialgleichung 5.1.1 Leplacetransformation der Diifferentialgleichung 5.1.1 Leplacetransformation der Diifferentialgleichung 5.1.2 Lepl			0 00					
3.1.1 Zweitorgleichungen 3.1.1 Parameterumrechnung 3.1.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4.2 Zweitor Eigenschaften 3.5.2 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbider 3.5.2 Ersatzschaltbider 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1.1 Rourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Rourierreihe periodischer Signale 4.1.2 Komplex Fourierreihe 4.1.2 Komplex Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.6 Eigenschaften der Suriertransformation 4.6		2.1	bode Diagramm					
3.1.1 Parameterumrechnung 3.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3.1 Trenuverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 Zereitoreret Quellen 3.5.2 Ersatzschaltlung 3.5.1 Eigenschaften: 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplex Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTT-Systeme 4.2 Kemgrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.7 LTT-Systeme im Bildbereich 4.7 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.7 LTT-Systeme im Bildbereich 4.7 ETT-Systeme im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systeme 4.9 Sechaltworgänge 5 Schaltworgänge 5 Schaltworgänge 5 Schaltworgänge im Bildbereich 5 Schaltworgänge im Bildbereich 5 Schaltworgänge mit ungeladenen Energiespeichern	3	Zwe	itore - Vierpoltheorie					
3.2 Zusammenschalten von Zweitoren 3.3 Matrizen elementarer Zweitoren 3.3.1 Trennverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetriceigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.4 Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 1 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 4.9 Systemantwort von LTI Systemen 1 4.9 Systemantwort von LTI Systemen 1 4.9 Systemantwort von LTI Systemen 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit Impeladenen Energiespeichern 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit Impeladenen Energiespeichern 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit Impeladen		3.1						
3.3.1 Treunverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetriceigenschaften 4.1.5 Habwellensymmetric 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTT-Systeme 4.2 Kemgrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.4 Fourierreinspormation 4.5 Eigenschaften ter Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation tationaler Funktionen 4.7 LTT-Systeme in Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systeme 4.9 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit Imgeladenen Energiespeichern								
3.3.1 Treunverstärker 3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6.8 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Estaztquelle 5.3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.1.8 Fouriertrainsformation 4.1.9 Fouriertrainsformation 4.1.1 Fouriertrainsformation 4.1.2 Fouriertrainsformation 4.1.3 Fouriertrainsformation 4.1.4 Fouriertrainsformation 4.1.5 Eigenschaften ter Fouriertransformation 4.1.5 Eigenschaften for Fouriertransformation 4.1.5 Eigenschaften for Fouriertransformation 4.1.5 Eigenschaften ter Fouriertransformation 4.1.5 Eigenschaften ten Fouriertransformation 4.1.5 Eigenschafte		_						
3.3.2 Torbedingungen 3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaftung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaftbilder 3.6 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Frsatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetriceigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetric 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 5 Carlotter in Bildbereich 4.7 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.2 Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.3 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge in Bildbereich in gestem in ges		ა.პ						
3.4 Zweitor Eigenschaften: 3.5 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6.1 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertrainsformation 4.4 Fouriertreihe und LTI-Systeme 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation Halten Laplace Transformation 4.6.3 Rücktransformation Halten Laplace Transformation 4.6.4 Fouriertransformation 4.6.5 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.6 Laplace Transformation Halten Laplace Transformation 4.6.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern								
3.5.1 Zweitorersatzschaltung 3.5.1 gesteuerte Quellen 3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6 Beschaltet Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 3.6.6 Kettenwiderstand 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetriceigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6 Laplace Transformation in the Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systeme 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge int ungeladenen Energiespeichern		3.4	0 0					
3.5.2 Ersatzschaltbilder 3.6 Beschaltete Zweitore 3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4.6.1 Eigenschaften der Fourierreihe 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 4.7 LTI-Systeme in Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5 Derechmen von Schaltvorgänge in Bildbereich 5 Schaltvorgänge 5 Derechmen von Schaltvorgänge in Bildbereich 5 Schaltvorgänge int ungeladenen Energiespeichern 5 Schaltvorgänge mit ungela		3.5						
3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systeme 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern								
3.6.1 Eingangsimpedanz 3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1. Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Aymmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreine und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 TIT-Systeme im Bildbereich 4.7 IT-Ty-Systeme im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen								
3.6.2 Ausgangsimpedanz 3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierriehe und LTT-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge		3.6						
3.6.3 Ersatzquelle 3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplexe Fourierreihe 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTT-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation in 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTII-Systeme in Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 1 <								
3.6.4 Wellenwiderstand 3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 11 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 10 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 11 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5.1.1 Laplacetr			0 0 1					
3.6.5 Scheinleistungsanpassung 3.6.6 Kettenwiderstand 4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern			*					
4 Signaldarstellung im Frequenz- und Bildbereich 4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplex Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell unwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 14 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 16 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 16 4.6 Laplace Transformation 16 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1								
4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern			3.6.6 Kettenwiderstand					
4.1 Fourierreihe periodischer Signale 4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern	1	Sign	aldarstellung im Frequenz- und Bildbereich					
4.1.1 Reelle Fourierreihe 4.1.2 Komplexe Fourierreihe 4.1.2 Komplex Fourierreihe 4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 9 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 10 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 11 4.6 Laplace Transformation 10 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 11 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 11 4.7 LITI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1	•							
4.1.3 Komplex Reell umwandeln 4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 9 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 11 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 16 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 16 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 16 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1			-					
4.1.4 Symmetrieeigenschaften 4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 9 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 9 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 10 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 10 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 11 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1			4.1.2 Komplexe Fourierreihe					
4.1.5 Halbwellensymmetrie 4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 9 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 10 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 11 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1								
4.1.6 Verschiebungssatz 4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 4.3 Fouriertransformation 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 4.6 Laplace Transformation 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern								
4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme 9 4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 10 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 10 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1								
4.2 Kenngrößen periodischer Signale 9 4.3 Fouriertransformation 10 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 10 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 10 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1								
4.3 Fouriertransformation 16 4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 16 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 16 4.6 Laplace Transformation 16 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1		4 2						
4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale 16 4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 16 4.6 Laplace Transformation 16 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 17 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 18 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 19 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 11 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 12 5 Schaltvorgänge 12 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 12 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 15								
4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation 10 4.6 Laplace Transformation 11 4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1								
4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation 1 4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1 5 Schaltvorgänge 1 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 1 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1		4.5						
4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen 1. 4.7 LTI-Systeme im Bildbereich 1. 4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich 1. 4.8 Systemantwort von LTI Systemen 1. 5 Schaltvorgänge 1. 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich 1. 5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung 1. 5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern 1.		4.6						
4.7 LTI-Systeme im Bildbereich								
4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich		17						
4.8 Systemantwort von LTI Systemen		4.1						
5 Schaltvorgänge 5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich		4.8						
5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich			·					
5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung	5							
5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern		5.1						
			5.1.2 Schaltvorgange mit ungeladenen Energiespeichern					

Signale im Zeitbereich

1.1 Signalcharakterisierung

- 1. Kontinuierlich \longleftrightarrow Diskret
- 2. **Deterministisch** \longleftrightarrow **Stochastisch** Deterministische Signale sind mathematisch beschreibbar, im gegensatz zu stochastischen Signalen die dem Zufall unterworfen sind
- 3. Periodisch \longleftrightarrow Aperiodisch

periodisch wenn, $x(t) = x(t + T_p)$ gilt. T_p heißt Grundperiode.

 T_p heißt Grundperiode.

Zerlegung des Signals:

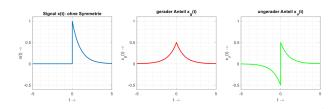
- gerader Anteil:

4. Gerade

$$x_G = \frac{1}{2} [x(t) + x(t-1)]$$

- ungerader Anteil:

$$x_U = \frac{1}{2} [x(t) - x(-t)]$$



5. Energiesignal \longleftrightarrow Leistungssignal

Energie:

$$E_x = \int_{t-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt$$

Leistung:

$$P_x = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} |x(t)|^2 dt$$

6. Korrelation

Die Korrelationsfunktion ist eine Maß für die Ähnlichkeit zweier deterministischer Energiesignale.

Korrelationsfunktion

$$r_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot y(t+\tau) dt$$

7. Transformation

Signale könnenn modifiziert werden durch Verändern der unabhängigen Variablen:

- Zeitverschiebung
- Zeitdehnung und Stauchung
- Zeitumkehr

$$x_2(t) = x_1(-at+b)$$

das Argument von $x_1(\tau)$ stellt eine Abbildung $t \to \tau$ dar, daher bewirkt

- +b/-b (b>0) eine Verschiebung von $x_1(\tau)$ nach links / rechts
- eine Multiplikation mit a / Division durch a (a > 1) eine Stauchung / Streckung von $x_1(\tau)$
- Multiplikation mit -1 eine Spiegelung an der Ordinatenachse

Die Reihenfolge der Schritte ist nicht \mathbf{EGAL} : erst Verschieben um b, dann Skalieren/Invertieren mit -a

1.2 Elementarsignale

• Sprungfunktion ε

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ 1 & \text{für } t \ge 0 \end{cases}$$

• Dirac δ

Ungerade:

$$\int_{t=-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1$$

Eigenschaften:

- Höhe unendlich
- Fläche = 1
- Zusammenhang mit Sprungfunktion $\int_{\tau=-\infty}^t \delta(\tau) d\tau = \varepsilon(t) \text{ bzw. } \frac{d}{dt} \varepsilon(t) = \delta(t)$
- Ausblendeigenschaft

$$\delta(t - t_0) \cdot y(t) = \delta(t - t_0) \cdot y(t_0)$$

- Zeitskalierung: $\delta(at) = \frac{1}{|a|}\delta(t)$
- Dreieckimpuls Λ

$$\Lambda(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } |t| > 1\\ 1 & \text{für } |t| \le 1 \end{cases}$$

• Rechteckfunktion rect

$$rect(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } |t| \le \frac{1}{2} \\ 0 & \text{für } |t| > \frac{1}{2} \end{cases}$$

Darstellbar durch: $rect(t) = \varepsilon \cdot \left(t + \frac{1}{2}\right) - \varepsilon \cdot \left(t - \frac{1}{2}\right)$

• Komplexe Exponential funktion

$$\Lambda(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } |t| > 1\\ 1 & \text{für } |t| \le 1 \end{cases}$$

2 Systeme

2.1 Eigenschaften

1. Speicher

• Frei: wird durch eine xy-Kennlinie vollständig beschrieben

z.B. $y(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot x(t)$

• behaftet: Bei diesen Systemen ist keine vollständige Beschreibung durch eine xy-Kennline möglich

z.B.
$$y(t) = x(t) + 2x(t-1)$$

2. Kausalität

Ausgangssignal hängt nur vom aktuellen und vorherigen Eingangssignal ab $\,$

Kausal: z.B.
$$y(t) = \int_{t-5}^{t} x(\tau)d\tau$$

Akausal: z.B.
$$y(t) = x(t+1) - x(t-1)$$

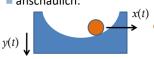
Speicherfreiheit & Kausalität: Aus Speicherfreiheit folgt Kausalität, aber nicht umgekehrt.

3. Stabilität

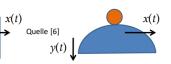
(Bounded Input \rightarrow Bounded Output)

BIBO Stabilität: kleines/beschränktes Eingangssignal \rightarrow kleine/beschränkte Antwort.

anschaulich:



stabil, Kugel kehrt in definierten Zustand zurück



instabil, selbst kleine Auslenkung führt zu ungebremstem Runterrollen

z.B. für stabiles System

$$y(t) = 50 \cdot x^3(t)$$

z.B. für instabiles System

$$y(t) = e^t \cdot x(t)$$

4. Zeitinvariant \leftrightarrow Zeitvariant

- invariant: Systeme ändern sich **nicht** bei einer Zeitverschiebung.
- \bullet variant: Verschobenes Eingangssignal \rightarrow verschobenes Ausgangssignal

5. Liniarität

Ein System ist linear, wenn das Superpositionsprinzip gilt: Linearkombination von Eingangssignalen ruft entsprechende Linearkombination der Ausgangssignale hervor

Bedeutung Liniarität

eine Verdopplung der Eingangsgröße (z.B. Spannung) führt auch zu einer Verdopplung der Ausgangsgröße.

2.2 LTI-Systeme (Linear time-invariant Systems)

2.2.1 Ein-/Ausgangsbeziehung

- Addition
- Multiplikation
- Differentiation
- Integration
- Zeitverschiebung(Verzögerung)

2.2.2 Faltung

Aus der Impulsantwort eines LTI-Systems und dem Eingangssignal lässt sich das Ausgangssignal durch Faltung bestimmen:

$$y(t) = x(t) * h(t) \rightarrow (*)$$
 Faltung Operator

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau$$

• Der Dirac-Impuls ist das neutrale Element der Faltung

$$x(t) * \delta(t) = x(t)$$

• Eine Faltung mit einem verschobenen Dirac-Impuls führt zur Verschiebung des Signals:

$$x(t) * \delta(t - a) = x(t - a)$$

Rechenregeln

- $x_1(t) * x_2(t) = x_2(t) * x_1(t)$
- $x_1(t) * [x_2(t) * x_3(t)] = [x_1(t) * x_2(t)] * x_3(t)$
- $x_1(t) * [x_2(t) + x_3(t)] = x_1(t) * x_2(t) + x_1(t) * x_3(t)$

2.3 Frequenzgang & Übertragungsfunktion

Frequenzgang

$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{Y}(\omega)}{\underline{X}(\omega)} = \frac{\underline{U}_2(\omega)}{\underline{U}_1(\omega)}$$

• Amplitudengang

$$A(\omega) = |\underline{H}(\omega)| = \frac{|\underline{Y}(\omega)|}{|\underline{X}(\omega)|} \begin{cases} > 1 & \text{Verstärkung} \\ < 1 & \text{Dämpfung} \end{cases}$$

Phasengang

$$\varphi_H(\omega) = \arg\{\underline{H}(\omega)\} = \varphi_Y(\omega) - \varphi_X(\omega)$$
$$\varphi_H = \arctan(\frac{\Im \mathfrak{m}}{\Re \mathfrak{e}})$$

• Eigenfunktion

$$y(t) = \lambda \cdot x(t) \begin{cases} x(t) : & \text{Eigenfunktion} \\ \lambda : & \text{Eigenwert}(\lambda \in \mathbb{C}) \end{cases}$$

jede komplexe Exponential funktion $x(t) = e^{st}$ ist Eigenfunktion jedes beliebigen LTI-Systems S:

$$y(t) = S\left\{e^{st}\right\} = \lambda \cdot e^{st}$$

Eigenwert kann wie folgt berechnet werden:

$$\lambda = \underline{H}(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) e^{-st} d\tau$$

• Erweiterung der komplexen Wechselstromrechnung

Die harmonische Exponentialfunktion $e^{j\omega t}$ ist ein sonderfall von e^{st} mit $s=j\omega$

$$\sigma \triangleq Amplitude \begin{cases} \sigma \leq 0 & \text{exponentiell abklingend} \\ \sigma = 0 & \text{konstante Amplitude} \\ \sigma \geq 0 & \text{exponentiell zunehmend} \end{cases}$$

$$\omega \triangleq Rotation \begin{cases} \omega \leq 0 & \text{Zeiger rotiert mit UZS} \\ \omega = 0 & \text{Zeiger rotiert nicht} \\ \omega \geq 0 & \text{Zeiger rotiert gegen UZS} \end{cases}$$

Komplexe Übertragungsfunktion

$$\underline{H}(s) = \frac{\underline{Y}(s)}{\underline{X}(s)} = \frac{\underline{U_2}(s)}{\underline{U_1}(s)} = \frac{\text{komplexer Zeiger des Ausgangssignals}}{\text{komplexer Zeiger des Eingangssignals}}$$

Die Übertragungsfunktion hängt von der komplexen Frequenz $s = \sigma + j\omega$ ab.

2.3.1 Pegel

Energiegröße:
$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} dB$$

Feldgröße: $a = 20 \cdot \lg \frac{\overline{U_1}^2}{U_2} dB$

2.4 Pole und Nullstellen

$$H(s) = \frac{\sum_{m=0}^{M} b_m \cdot s^m}{\sum_{n=0}^{N} a_n \cdot s^n}$$

Die Koeffizienten an und bm ergeben sich aus den Bauelementen und sind reell.

$$\underline{H}(s) = \frac{\text{Summe aller Nullstellen}}{\text{Summe aller Pole}}$$

$$= \frac{b_M}{a_N} \cdot \frac{(s - s_{o1}) \cdot (s - s_{o2}) \cdot \dots \cdot (s - s_{oM})}{(s - s_{x1}) \cdot (s - s_{x2}) \cdot \dots \cdot (s - s_{xN})}$$

 $k = \frac{b_M}{a_N}$ ist der Maßstabfaktor

Bei stabilen Systemen müssen alle Pole in der linken komplexen Halbebene liegen.

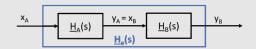
2.5 Elementare Übertragungsglieder

P-Glied, D-Glied, I-Glied, PT1-Glied Für mehr sehe externe Tabelle.

2.6 Zusammenschalten von Übertragungsgliedern

Kettenschaltung
 Multiplikation der Einzelübertragungsfunktionen.

$$\underline{H_e(s)} = \underline{H_B(s)} \cdot \underline{H_A(s)} = \underline{H_A(s)} \cdot \underline{H_B(s)}$$

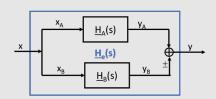


$$\underline{Y}_B = \underline{H}_B(s) \cdot \underline{X}_B = \underline{H}_B(s) \cdot \underline{Y}_A = \underline{H}_B(s) \cdot \underline{H}_A(s) \cdot \underline{X}_A$$

Rückwirkungsfreiheit gewährleistet sein.

• Parallelschaltung **Summe** der Einzelübertragungsfunktionen.

$$\underline{\underline{H}}_{e}(s) = \underline{\underline{H}}_{B}(s) + \underline{\underline{H}}_{A}(s)$$



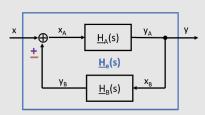
$$\underline{Y} = \underline{Y}_A \pm \underline{Y}_B$$

$$= \underline{H}_A(s) \cdot \underline{X}_A \pm \underline{H}_B(s) \cdot \underline{X}_B$$

$$= (\underline{H}_A(s) + \underline{H}_B(s)) \cdot \underline{X}$$

Rückkopplung

$$\underline{\underline{H}_e(s)} = \underline{\underline{H}_A(s)} \\ \underline{1 \pm \underline{H}_A(s) \cdot \underline{H}_B(s)}$$



Mitkopplung: y_A vergrößert x_A Gegenkopplung y_A verkleinert x_A

2.7 Bode Diagramm

- Bode Diagramm von Kettenschaltung Ergibt sich durch **Addition der Bodediagramme** der einzelnen Glieder.
- Bode Diagramm der inversen Übertragungsfunktion Ergibt sich durch **Spiegelung an der X-Achse**.

3 Zweitore - Vierpoltheorie

3.1 Zweitorgleichungen

• Admittanzform/ Admittanzmatrix Y:

$$\begin{array}{l} \underline{I}_1 = \underline{Y}_{11} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{12} \cdot \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 = \underline{Y}_{21} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{22} \cdot \underline{U}_2 \end{array} \right\} \; \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{pmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{pmatrix}$$

• Impedanzform/ Impedanzmatrix **Z**:

$$\begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{Z}_{11} \cdot \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \cdot \underline{I}_2 \\ U_2 = \underline{Z}_{21} \cdot \underline{I}_1 + \underline{Z}_{22} \cdot \underline{I}_2 \end{array} \right\} \, \begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{pmatrix} = \underline{\mathbf{Z}} \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{pmatrix}$$

• Hybridform 1/ Reihenparallelmatrix **H**:

$$\begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{H}_{11} \cdot \underline{I}_1 + \underline{H}_{12} \cdot \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 = \underline{H}_{21} \cdot \underline{I}_1 + \underline{H}_{22} \cdot \underline{U}_2 \end{array} \right\} \; \left(\underline{\underline{U}}_1 \\ \underline{I}_2 \right) = \underline{\mathbf{H}} \cdot \left(\underline{\underline{I}}_1 \\ \underline{U}_2 \right) \end{array}$$

• Hybridform 2/ Parallelreihenmatrix C:

$$\begin{array}{l} \underline{I_1} = \underline{C_{11}} \cdot \underline{U_1} + \underline{C_{12}} \cdot \underline{I_2} \\ \underline{U_2} = \underline{C_{21}} \cdot \underline{U_1} + \underline{C_{22}} \cdot \underline{I_2} \end{array} \right\} \; \begin{pmatrix} \underline{I_1} \\ \underline{U_2} \end{pmatrix} = \underline{\mathbf{C}} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U_1} \\ \underline{I_2} \end{pmatrix}$$

• Kettenform/ Kettenmatrix A:

$$\begin{array}{l} \underline{U}_1 = \underline{A}_{11} \cdot \underline{U}_2 + \underline{A}_{12} \cdot -\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \underline{U}_2 + \underline{A}_{22} \cdot -\underline{I}_2 \end{array} \right\} \; \left(\underline{\underline{U}}_1 \\ \left(\underline{\underline{I}}_2 \right) = \underline{\mathbf{A}} \cdot \left(\underline{\underline{U}}_2 \right) \end{array}$$

• Kettenform rückwärts/ Kettenmatrix B:

$$\begin{array}{l} \underline{U}_2 = \underline{B}_{11} \cdot \underline{U}_1 + \underline{B}_{12} \cdot -\underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 = \underline{B}_{21} \cdot \underline{U}_1 + \underline{B}_{22} \cdot -\underline{I}_1 \end{array} \right\} \; \left(\underline{\underline{U}}_2 \right) = \underline{\mathbf{B}} \cdot \left(\underline{\underline{U}}_1 \right) \\ \end{array}$$

3.1.1 Parameterumrechnung

Z Y H

$$Z \begin{bmatrix} \underline{Z}_{11} \, \underline{Z}_{12} \\ \underline{Z}_{21} \, \underline{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{Y}_{22} & -\underline{Y}_{12} \\ \det \underline{Y} & \det \underline{Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\det \underline{H}}{\underline{H}_{22}} & \underline{H}_{12} \\ \underline{H}_{22} & \underline{H}_{22} \\ -\underline{H}_{21} & \underline{1} \\ \underline{H}_{22} & \underline{H}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}_{11} & \det \underline{A} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{21} \\ \underline{1} & \underline{A}_{22} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{21} \end{bmatrix}$$

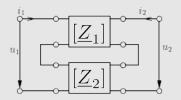
$$Y \begin{bmatrix} \underline{Z}_{22} & -\underline{Z}_{12} \\ \det \underline{Z} & \det \underline{Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{Y}_{11} \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{21} \underline{Y}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{1} & -\underline{H}_{12} \\ \underline{H}_{11} & \underline{H}_{11} \\ \underline{H}_{21} & \det \underline{H} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}_{22} & -\det \underline{A} \\ \underline{A}_{12} & \underline{A}_{12} \\ -1 & \underline{A}_{11} \\ \underline{A}_{12} & \underline{A}_{12} \end{bmatrix}$$

$$H \begin{bmatrix} \frac{\det \mathbf{Z}}{Z_{22}} & \underline{Z}_{12} \\ \underline{-Z}_{21} & 1 \\ \underline{Z}_{22} & \underline{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{Y_{11}} & \frac{-Y_{12}}{Y_{11}} \\ \underline{Y}_{21} & \det \mathbf{Y} \\ \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{H}_{11} & \underline{H}_{12} \\ \underline{H}_{21} & \underline{H}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}_{12} & \det \mathbf{A} \\ \underline{A}_{22} & \underline{A}_{22} \\ -1 & \underline{A}_{21} \\ \underline{A}_{22} & \underline{A}_{22} \end{bmatrix}$$

$$A \begin{bmatrix} \underline{Z}_{11} & \det \mathbf{Z} \\ \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{21} \\ \underline{1} & \underline{Z}_{22} \\ \underline{Z}_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{-Y}_{22} & \underline{-1} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{21} \\ \underline{-\det Y} & \underline{-Y}_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{-\det \mathbf{H}} & \underline{-H}_{11} \\ \underline{H}_{21} & \underline{H}_{21} \\ \underline{-H}_{22} & \underline{-1} \\ \underline{H}_{21} & \underline{H}_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}_{11} \, \underline{A}_{12} \\ \underline{A}_{21} \, \underline{A}_{22} \end{bmatrix}$$

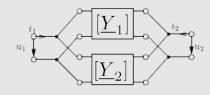
3.2 Zusammenschalten von Zweitoren

• Reihenschaltung:



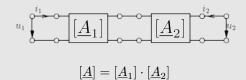
$$[\underline{Z}] = [\underline{Z}_1] + [\underline{Z}_2]$$

• Parallelschaltung:



$$[\underline{Y}] = [\underline{Y}_1] + [\underline{Y}_2]$$

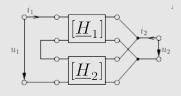
• Kettenschaltung:



BEACHTE:

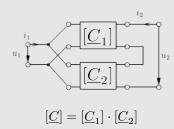
Im Allgemeinen gilt $\to [\underline{A}_1]\cdot [\underline{A}_2] \neq [\underline{A}_2]\cdot [\underline{A}_1]$

• Reihen-Parallelschaltung:

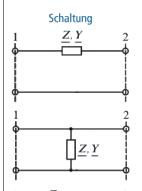


$$[\underline{H}] = [\underline{H}_1] \cdot [\underline{H}_2]$$

• Parallel-Reihenschaltung:



$\overline{3.3}$ Matrizen elementarer Zweitore



 \underline{z}

 $\underline{\boldsymbol{Y}}$

 \underline{H}

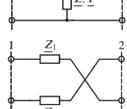
<u>C</u>

 \underline{A}

ne
$$\left(\frac{\underline{Y}}{-\underline{Y}}\right)$$

 $\begin{pmatrix} \underline{Y} & -\underline{Y} \\ -\underline{Y} & \underline{Y} \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} \underline{Z} & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & \underline{Z} \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & \underline{Z} \end{pmatrix}$$



 $\begin{pmatrix} \underline{Z} & \underline{Z} \\ Z & Z \end{pmatrix}$

ne

 $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & Y \end{pmatrix} \qquad \qquad \begin{pmatrix} \underline{Y} & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$

$$Z_2$$

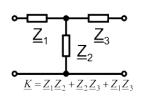
ne

$$\frac{1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

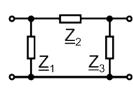
$$\frac{1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} -1 & -(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & \ddot{u} \\ -\ddot{u} & 0 \end{pmatrix} \qquad \qquad \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\ddot{u}} \\ \frac{1}{\ddot{u}} & 0 \end{pmatrix}$$

idealer Übertrager
$$\ddot{u} = \frac{w_1}{w_2}$$







$$\underline{\underline{Z}}_1$$
 $\underline{\underline{Z}}_2$
 $\underline{\underline{Z}}_1$

$$egin{bmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_2 \ & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{bmatrix}$$

$$\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_2 & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underline{\underline{Z}_1(\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)} & \underline{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3} & \underline{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \\ \underline{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3} & \underline{\underline{Z}_3(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)} & \underline{\underline{Z}_3(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)} \\ \underline{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} & \underline{\underline{Z}_3(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underline{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} & \underline{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} \\ \underline{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} & \underline{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_2 - \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_2 - \underline{Z}_1 & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}{\underline{K}} & \frac{-\underline{Z}_2}{\underline{K}} \\ \frac{-\underline{Z}_2}{\underline{K}} & \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}{\underline{K}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} & \underline{-\underline{Z}_2} \\ \underline{-\underline{Z}_2} & \underline{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \\ \underline{\underline{K}} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underline{\underline{1}} + \underline{\underline{1}} & -\underline{\underline{1}} \\ -\underline{\underline{1}} & \underline{\underline{1}} + \underline{\underline{1}} \\ -\underline{\underline{Z}_2} & \underline{\underline{I}}_2 + \underline{\underline{1}} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underline{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2} & \underline{\underline{Y}_2 - \underline{Y}_1} \\ \underline{\underline{Y}_2 - \underline{Y}_1} & \underline{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2} \\ \underline{\underline{Y}_2 - \underline{Y}_1} & \underline{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 & \underline{Y}_2 - \underline{Y}_1 \\ \underline{Y}_2 - \underline{Y}_1 & \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 \\ \underline{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{K}} & \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \\ \underline{-\underline{Z}}_2 + \underline{Z}_3 & \underline{1} \\ \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{K}} & \underline{\underline{Z}}_2 \\ \underline{\underline{Z}}_2 + \underline{Z}_3 & \underline{\underline{Z}}_2 + \underline{Z}_3 \\ \underline{-\underline{Z}}_2 & \underline{1} \\ \underline{\underline{Z}}_2 + \underline{Z}_3 & \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underline{\underline{Z}}_1 \cdot \underline{\underline{Z}}_2 & \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 \\ \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \\ \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{\underline{Z}}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 \end{bmatrix}$$

$$\frac{\frac{1}{Z_1 + Z_2}}{\frac{Z}{Z_1 + Z_2}} \frac{\frac{-\underline{Z}_2}{Z_1 + Z_2}}{\frac{Z}{Z_1 + Z_2}}$$

$$\underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\mathbf{C}} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \frac{1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} & \frac{-\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \\ \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} & \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)} & \frac{-\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \\ \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} & \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\mathbf{A}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} & \underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} \\ \frac{1}{\underline{Z}_2} & 1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} & \underline{Z}_2 \\ \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_3} + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3} & 1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} & \frac{2\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} \\ \frac{2}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} & \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} \end{bmatrix}$$

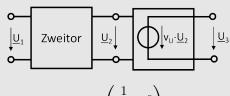
$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} & \underline{Z}_2 \\ \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{\underline{Z}_2}{Z_1 \cdot Z_2} & 1 + \frac{\underline{Z}_2}{Z_1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 & \underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_2 - \underline{Z}_1 & \underline{Z}_2 - \underline{Z}_1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{2}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_1} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$

3.3.1 Trennverstärker

Ersatzschaltbild eines idealen Trennverstärkers:



$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{v_U} & 0\\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\underline{A}_e = \begin{pmatrix} \underline{A}_{11} & \underline{A}_{12} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{1} & 0 \\ v_U & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{\underline{A}}_{11} & 0 \\ \underline{A}_{21} & 0 \\ \underline{v}_U & 0 \end{pmatrix}$$

3.3.2 Torbedingungen

Die Torbedingungen werden durch:

- idealen Übertrager
- Kurzschlussschleife
- Parallelschaltung längssymmetrischer Zweitore

erfüllt.

für die das Zusammenschalten von Zweitoren müssen diese Bedingungen eingehalten werden.

3.4 Zweitor Eigenschaften:

• Reziprozität (Umkehrbarkeit)

Z	$Z_{12} = Z_{21}$
Y	$Y_{12} = Y_{21}$
A	$\det[A] = 1$
H	$H_{12} = -H_{21}$

Ein umkehrbares (reziprokes) Zweitor wird nur durch drei Parameter beschrieben:

(RLCM-Zweitor)ist immer umkehrbar.

Gegenbeispiel: idealer Transistor

• Rückwirkungsfreiheit

$$Z_{12} = Y_{12} = H_{12} = \det[A] = 0$$

Ein rückwirkungsfreies Zweitor ist nicht reziprok und wird nur durch drei Parameter beschrieben.

Beispiele: idealer Verstärker, idealer Transistor, gesteuerte Quellen

• Symmetrie

Z	$Z_{11} = Z_{22}$
Y	$Y_{11} = Y_{22}$
A	$A_{11} = A_{22}$
H	$\det[H] = 1$

Ein umkehrbares und symmetrisches Zweitor wird durch zwei Parameter beschrieben.

3.5 Zweitorersatzschaltung

3.5.1 gesteuerte Quellen

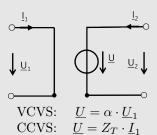
Ideal

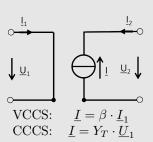
VCVS: Spannungsgesteurte Spannungsquelle

CCVS: Stromgesteurte Spannungsquelle

VCCS: Spannungsgesteurte Stromquelle

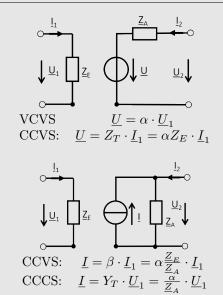
CCCS: Stromgesteurte Stromquelle





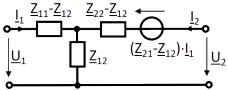
Andere Matrizen sind nicht definiert. Ideale (gesteuerte) Quellen lassen sich nicht ineinander umwandeln!

Linear

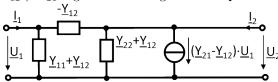


3.5.2 Ersatzschaltbilder

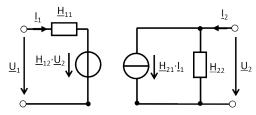
• T-Ersatzschaltbild für Z-Matrix für $Z_{12} \neq Z_{21}$ ergänzt um eine gesteuerte Quelle.



• II-Ersatzschaltbild für Y-Matrix für $Y_{12} \neq Y_{21}$ ergänzt um eine gesteuerte Quelle.

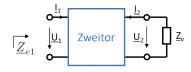


• Hybrid-Ersatzschaltbild für H-Matrix



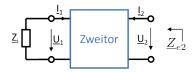
3.6Beschaltete Zweitore

3.6.1Eingangsimpedanz



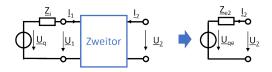
$$\begin{split} & \boldsymbol{Z} \to \underline{Z}_{e1} = \underline{Z}_{11} - \frac{\underline{Z}_{12}\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{22} + \underline{Z}_{V}} \\ & \boldsymbol{Y} \to \underline{Y}_{e1} = \underline{Y}_{11} - \frac{\underline{Y}_{12}\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{22} + \underline{Y}_{V}} \\ & \boldsymbol{A} \to \underline{Z}_{e1} = \frac{\underline{A}_{11}\underline{Z}_{V} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{V} + \underline{A}_{22}} \\ & \boldsymbol{H} \to \underline{Z}_{e1} = \underline{H}_{11} - \frac{\underline{H}_{12}\underline{H}_{21}}{\underline{H}_{22} + \underline{Y}_{V}} \\ & \boldsymbol{C} \to \underline{Y}_{e1} = \underline{C}_{11} - \frac{\underline{C}_{12}\underline{C}_{21}}{\underline{C}_{22} + \underline{Z}_{V}} \end{split}$$

Ausgangsimpedanz 3.6.2



$$\begin{split} \boldsymbol{Z} &\to \underline{Z}_{e2} = \underline{Z}_{22} - \frac{\underline{Z}_{12}\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{11} + \underline{Z}_{i}} \\ \boldsymbol{Y} &\to \underline{Y}_{e2} = \underline{Y}_{22} - \frac{\underline{Y}_{12}\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{11} + \underline{Y}_{i}} \\ \boldsymbol{A} &\to \underline{Z}_{e2} = \frac{\underline{A}_{22}\underline{Z}_{i} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{i} + \underline{A}_{11}} \\ \boldsymbol{H} &\to \underline{Z}_{e2} = \underline{H}_{22} - \frac{\underline{H}_{12}\underline{H}_{21}}{\underline{H}_{11} + \underline{Y}_{i}} \\ \boldsymbol{C} &\to \underline{Y}_{e2} = \underline{C}_{22} - \frac{\underline{C}_{12}\underline{C}_{21}}{\underline{C}_{11} + \underline{Z}_{i}} \end{split}$$

3.6.3 Ersatzquelle



$$egin{aligned} oldsymbol{Z} &
ightarrow \underline{U}_{qe} = rac{\underline{U}_q \underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{11} + \underline{Z}_i} \ oldsymbol{Y} &
ightarrow \underline{I}_{qe} = rac{-\underline{I}_q \underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{11} + \underline{Y}_i} \ oldsymbol{A} &
ightarrow \underline{U}_{qe} = rac{\underline{U}_q}{\underline{Z}_i \underline{A}_{21} + \underline{A}_{11}} \ oldsymbol{H} &
ightarrow \underline{I}_{qe} = rac{-\underline{U}_q \underline{H}_{21}}{\underline{H}_{11} + \underline{Z}_i} \ oldsymbol{C} &
ightarrow \underline{U}_{qe} = rac{\underline{I}_q \underline{C}_{21}}{\underline{C}_{11} + \underline{Y}_i} \end{aligned}$$

Wellenwiderstand

Beschaltet man den Ausgang eines Zweitors mit \underline{Z}_{w2} , so liegt am Eingang die Impedanz \underline{Z}_{w1} .

$$\underline{Z}_{w1} = \frac{\underline{A}_{11}\underline{Z}_{w2} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{w2} + \underline{A}_{22}}$$

Beschaltet man den Eingang eines Zweitors mit \underline{Z}_{w1} , so liegt am Ausgang die Impedanz \underline{Z}_{w2} .

$$\underline{Z}_{w2} = \frac{\underline{A}_{22}\underline{Z}_{w1} + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21}\underline{Z}_{w1} + \underline{A}_{11}}$$

Lösung des obigen Gleichungssystems

Für symmetrische Zweitore gilt $Z_{w1} = Z_{w2}$

Alternatives:

Messtechnisch(Leerlauf und Kurzschluss)

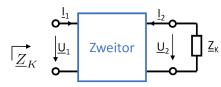
$$\begin{split} & \underline{Z}_{01} = \frac{\underline{A}_{11} \cdot \infty + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \cdot \infty + \underline{A}_{22}} \\ & \underline{Z}_{k1} = \frac{\underline{A}_{11} \cdot 0 + \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \cdot 0 + \underline{A}_{22}} \end{split} \right\} \underline{Z}_{w1} = \sqrt{\underline{Z}_{k1} \cdot \underline{Z}_{01}} = A(Z_{w1})$$

3.6.5 Scheinleistungsanpassung

Wiederholung GE2 Kapitel 2.7.8

Beschaltet man ein Zweitor mit seinen Wellenwiderständen, so liegt Scheinleistungsanpassung vor.

3.6.6 Kettenwiderstand



Schaltet man eine große Zahl gleicher Zweitore in Kette, so nähert sich der Eingangswiderstand einem Grenzwert, dem Kettenwiderstand \underline{Z}_{K} .

$$\underline{Z}_K = \underline{Z}_{11} - \frac{\underline{Z}_{12}\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{22} + \underline{Z}_K}$$

Lösung der obigen Gleichung:

$$\underline{Z}_K = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{11} - \underline{Z}_{22} \pm \sqrt{(\underline{Z}_{11} - \underline{Z}_{22})^2 + 4 \cdot \det \underline{Z}})$$

Für symmetrische Zweitore entspricht der Kettenwiderstand dem Wellenwiderstand.

4 Signaldarstellung im Frequenzund Bildbereich

4.1 Fourierreihe periodischer Signale

Die Überlagerung von Sinusschwingungen zu einem periodischen, nichtsinusförmigen Signal nennt man harmonische Synthese.

4.1.1 Reelle Fourierreihe

• mit sin und cos:

$$f(t) = a_0 \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cdot \cos(k\omega_1 t) b_k \cdot \sin(k\omega_1 t)]$$

• mit Amplitude und Phase:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k \cdot \cos(k\omega_1 t + \varphi_k)]$$
$$= A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k \cdot \sin(k\omega_1 t + \varphi_k - \frac{\pi}{2})]$$

Koeffizienten

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} f(t)dt$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} f(t) \cdot \cos(k\omega_1 t) dt$$
$$b_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} f(t) \cdot \sin(k\omega_1 t) dt$$

4.1.2 Komplexe Fourierreihe

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underline{c}_k \cdot e^{j\omega_1 kt}$$

$$\underline{c}_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} f(t) \cdot e^{-j\omega_1 k t} dt \qquad = \frac{1}{2} \left(a_k - j b_k \right)$$

4.1.3 Komplex Reell umwandeln

$$\begin{array}{c} \text{Komplex} \to \text{Reell:} \\ \hline \left[a_0 = A_0 = \underline{c}_0\right] \\ \\ a_k = 2 \ \mathfrak{Re} \left\{c_k\right\} = \left[\underline{c}_k + \underline{c}_{-k}\right] \\ b_k = -2 \ \mathfrak{Im} \left\{\underline{c}_k\right\} = j \left[\underline{c}_k - \underline{c}_{-k}\right] \\ \\ A_k = 2|\underline{c}_k| \quad \beta_k = -\varphi_k \\ \\ \text{Reell} \to \text{Komplex:} \\ \\ c_k = \frac{1}{2} \left(a_k - ib_k\right) = \frac{A_k}{2} e^{-j\beta_k} \\ \end{array} \right)$$

$$\begin{aligned} &\underline{c}_k = \frac{1}{2} \left(a_k - j b_k \right) = \frac{A_k}{2} e^{-j\beta_k} \\ &\underline{c}_{-k} = \frac{1}{2} \left(a_k + j b_k \right) = \frac{A_k}{2} e^{j\beta_k} \end{aligned} \right\} \quad k > 0$$

4.1.4 Symmetrieeigenschaften

- Gerade Funktionen symmetrisch zur y-Achse alle sin-teile verschwinden $A_0 = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y(t) dt$ $a_k = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y(t) \cdot cos(k\omega_1 t) dt$ $b_k = 0$
- Ungerade Funktionen symmetrisch zum Ursprung alle *cos*-teile und Gleichanteil verschwinden
 - $-A_0 = 0$
 - $-a_k = 0$
 - $-b_k = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y(t) \cdot \sin(k\omega_1 t) dt$

4.1.5 Halbwellensymmetrie

Halbwellensymmetrie gilt wenn:

$$y(t) = -y(t \pm T/2)$$

Die Fourier-Reihe einer Zeitfunktion mit HWS enthält stets nur Terme mit ungeraden Ordnungszahlen.

$$k=1,3,5,\ldots,\infty$$

im Allgemeinen

Koeffizienten:

$$A_0 = 0, \ a_{2k} = 0, \ b_{2k} = 0$$

$$a_{2k-1} = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y(t) \cdot \cos((2k-1)\omega_1 t) dt$$

$$b_{2k-1} = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} y(t) \cdot \sin((2k-1)\omega_1 t) dt$$

gerade Halbwellensymmetrie

$$A_0 = 0, \ b_k = 0, \ a_{2k} = 0$$
$$a_{2k-1} = \frac{8}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} y(t) \cdot \cos((2k-1)\omega_1 t) dt$$

ungerade Halbwellensymmetrie

$$A_0 = 0, \ a_k = 0, \ b_{2k} = 0$$
$$b_{2k-1} = \frac{8}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} y(t) \cdot \sin((2k-1)\omega_1 t) dt$$

4.1.6 Verschiebungssatz

Verschiebung im Zeitbereich entspricht eine Drehung den Komplexen Spektrum um die Phase $\rightarrow -k\omega_1 t_v$

$$f_v(t) = f(t - t_v) = \sum_{k = -\infty}^{\infty} \underline{c}_k \cdot e^{j\omega_1 k(t - t_v)}$$
$$= \sum_{k = -\infty}^{\infty} \underline{c}_k \cdot e^{j\omega_1 kt_v} \cdot e^{\omega_1 kt}$$

Ist tv < 0, wie im Beispiel oben, so werden die Phasenwinkel des Spektrums mit zunehmender Frequenz größer.

4.1.7 Fourierreihe und LTI-Systeme

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underbrace{\underline{H}(k\omega_1) \cdot \underline{c}_{xk}}_{\underline{c}_{yk}} \cdot e^{j\omega_1 kt}$$

4.2 Kenngrößen periodischer Signale

• Effektivwert

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} u(t)^2 dt}$$

mit der Fourierreihe:

$$U_{\mathit{eff}} = \sqrt{\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k^2} = \sqrt{\sum_{k=-\infty}^{\infty} U_{k,\mathit{eff}}^2}$$

auch:

$$\sqrt{A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} A_k^2}$$

• Klirrfaktor(Oberschwingungsgehalt): Dient zur Quantifizierung einer nichtlinearen Verzerrung bzw. von der Sinusform eines Signals.

$$k = \frac{\text{Effektivwert der Oberschwingungen}}{\text{Effektivwert des Wechselanteil}}$$

$$= \boxed{\frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty}U_k^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty}U_k^2}}} = \frac{\sqrt{U_{\sim}^2 - U_1^2}}{U_{\sim}} \leq 1}$$

Für Wechselgrößen lässt sich k einfach mit

Grundschwingungsgehalt
$$g$$
 ermitteln ($gilt\ immer$):
$$k = \sqrt{1-g^2} \leftrightarrow g = \frac{U_1}{U}$$

- Mischgrößen
 - Schwingungsgehalt:

$$s = \frac{U_{\sim}}{U} = \frac{\text{Effektivwert des Wechselanteils}}{\text{Effektivwert der Mischgrösse}}$$

- Welligkeit:

$$w = \frac{U_{\sim}}{\bar{U}} = \frac{\text{Effektivwert des Wechselanteils}}{\text{Gleichanteil}}$$

- Riffelfaktor:

$$R = \frac{\hat{U}_{\sim}}{\bar{U}} = \frac{\text{Scheitelwert des Wechselanteils}}{\text{Gleichanteil}}$$

• Wirkleistung:

$$P = \bar{p}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

$$P = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underline{u}_k \underline{i}_k^* \leftrightarrow i_k^* = i_{-k}$$

Als Reihe:

$$P_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{k_{eff}} \cdot I_{k_{eff}} \cdot \cos(\varphi_{uk} - \varphi_{ik}) \rightharpoonup \arctan\left(\frac{a_k}{b_k}\right)$$

Nur gleichfrequente harmonische tragen zur Wirkleistung bei!

• Schein- und Blindleistung

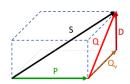
$$S = U_{eff} \cdot I_{eff} = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Bei einem nicht linearen Verbraucher an einer Sinusförmigen Spannung:

$$S^2 = (UI)^2 = U_1^2 \cdot \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2 =$$

$$U_1^2 I_0^2 + U_1^2 \sum_{k=2}^{\infty} I_k^2 + U_1^2 I_1^2 \sin^2 \varphi_1 + U_1^2 I_1^2 \cos^2 \varphi_1$$

Räumlich Darstellung der Scheinleistung:



Verschiebungs- Feldblindleistung Q_v

$$Q = \sqrt{Q_v^2 + D^2} \leftrightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$
$$S = \sqrt{P^2 + Q_v^2 + D^2}$$

Blindleistung aufgrund der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung gleicher Frequenz.

Verzerrungblindleistun D

$$D^2 = U_1^2 \cdot (I^2 - I_1^2) = S^2(1 - g)$$

von Mischtermen (Produkten von Spannung und Strom unterschiedlicher Frequenzen).

4.3 Fouriertransformation

$$x(t) \circ - \bullet X(\omega)$$

Hintransformation - Analysegleichung:

$$\underline{X}(\omega) = \mathcal{F}\left\{x(t)\right\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Komplexwertige Fouriertransformierte:

$$X(\omega) = |X(\omega)| \cdot e^{j\omega\varphi}$$

Einheit:
$$[x(t)] \cdot s$$

Rücktransformation - Synthesegleichung:

$$x(t) = \mathcal{F}^{-1}\left\{\underline{X}(\omega)\right\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \underline{X}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

4.4 Fouriertransformation bei periodischer Signale

Fouriertransformierte periodischer Signale:

$$\underline{X}(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} \underline{c}_k \cdot \delta(\omega - k\omega_1)$$

Fourierkoeffizienten:

$$\underline{c}_k = \frac{1}{T} \underline{X}(\omega_1) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot e^{-j\omega_1 t} dt$$

Die Koeffizienten \underline{c}_k der komplexen Fourierreihe sind die Abtastwerte von $\underline{X}(\omega)$ bei den Frequenzen

$$\omega = k\omega_1 = k\frac{2\pi}{T}$$

4.5 Eigenschaften der Fouriertransformation

• Linearität

$$a_1x_1(t) + a_2x_2(t) \circ a_1\underline{X}_1(\omega) + a_2\underline{X}_2(\omega)$$

• Dualität

$$X(t) \circ - 2\pi \cdot x(-\omega)$$

• Zeitskalierung

$$x(a\cdot t) \circ -\!\!\!\!- \bullet \frac{1}{|a|}\underline{X}\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad a \in \mathbb{R}\backslash\{0\}$$

• Frequenzskalierung

• Zeitverschiebung

$$x(t-t_0) \circ X(\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$$

• Frequenzverschiebung - Modulation

$$x(t) \cdot e^{j\omega_0 t} \circ \underbrace{X}(\omega - \omega_0)$$

• Faltungssatz

$$x_1(t) * x_2(t) \circ \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} (\omega) \cdot \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} \underline{\hspace{1cm}} (\omega)$$

• Multiplikation - Fenstertheorem

$$x_1(t) \cdot x_2(t) \circ - \underbrace{1}{2\pi} \underline{X}_1(\omega) * \underline{X}_2(\omega)$$

• Differentiation

im Zeitbereich:

$$\frac{d}{dt}x(t) \circ - \bullet j\omega \underline{X}(\omega)$$

im Frequenzbereich:

$$t \cdot x(t) \circ \underbrace{\hspace{1cm}}_{j} \frac{d}{d\omega} \underline{X}(\omega)$$

• Integration

$$\int_{-\infty}^{t} x(\tau)d\tau \circ - \frac{1}{j\omega}\underline{X}(\omega) + \pi \cdot \underline{X}(0) \cdot \delta(\omega)$$

• Energieberechnung - Parseval

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\underline{X}(\omega)|^2 d\omega$$

Symmetrie

Betrag und der Realteil des Spektrums sind gerade

Phase und der Imaginärteil des Spektrums sind ungerade.

$$\underline{X}(-\omega) = \underline{X}^*(\omega)$$

φ_χ, lm{<u>X</u>}

|X|, Re $\{X\}$

x(t) reel und gerade $\to X(\omega)$ reel und gerade

$$\underline{X}(\omega) = 2 \int_0^\infty x(t) \cos(\omega t) dt$$

x(t) reel und ungerade $\to X(\omega)$ imaginär und ungerade

$$\underline{X}(\omega) = -2j \int_0^\infty x(t) \sin(\omega t) dt$$

4.6 Laplace Transformation

$$x(t) \circ - \underline{\bullet} \underline{X}(s)$$

Hintransformation - Analysegleichung

$$\underline{X}(s) = \mathcal{L}\left\{x(t)\right\} = \int_0^\infty x(t)e^{-st}dt$$

Rücktransformation - Synthesegleichung:

$$x(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \underline{X}(s) \right\} = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma - i\infty}^{\sigma + j\infty} \underline{X}(s) e^{-st} ds$$

4.6.1 Eigenschaften Laplace Transformation

• Linearität

$$\alpha x_1(t) + \beta x_2(t) \circ - \alpha \underline{X}_1(t) + \beta \underline{X}_2(t)$$

• Skalierung im Zeitbereich

$$x(\alpha t) \circ - \frac{1}{\alpha} \underline{X} \left(\frac{s}{\alpha} \right) \qquad \alpha > 0$$

• Skalierung im Bildbereich

$$\frac{1}{\alpha}x\left(\frac{t}{\alpha}\right) \circ - \bullet \underline{X}(\alpha s) \qquad \alpha > 0$$

• Verschiebung im Zeitbereich

$$x(t-t_0) \circ e^{-st_0}X(s)$$
 $t_0 > 0$

• Verschiebung im Bildbereich - Modulation

$$e^{at}x(t) \circ X(s-a)$$

Faltung

$$x_1(t) * x_2(t) \circ \longrightarrow X_1(t) \cdot X_2(t)$$

• Differentiation im Zeitbereich

$$\frac{d}{dt}x(t) \circ - \bullet s \cdot \underline{X}(s) - \underline{x(0^+)}$$

• Differentiation im Bildbereich

$$t \cdot x(t) \circ - \frac{d}{ds} \underline{X}(s)$$

• Integration im Zeitbereich

$$\int_0^t x(\tau)d\tau \circ - \frac{1}{s}\underline{X}(s)$$

• Integration im Bildbereich

$$\frac{1}{t}x(t) \circ - \int_{0}^{\infty} \underline{X}(s)ds$$

4.6.2 Rücktransformation rationaler Funktionen

Partialbruchzerlegung: Siehe papula nach S.157

4.7 LTI-Systeme im Bildbereich

$$\underbrace{\frac{x(t)}{\underline{X}(s)}}_{h(t)}\underbrace{\frac{y(t) = x(t) * h(t)}{y(s) = \underline{X}(s) \cdot \underline{H}(s)}}_{h(s)}$$

4.7.1 Impuls- und Sprungantwort im Bildbereich

Impulsantwort:

$$h(t) \circ - \underline{H}(s)$$

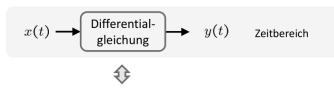
durch integrationssatz:

$$g(t) = \int_0^t h(\tau)d\tau$$

Sprungantwort:

$$g(t) \circ - \underbrace{\underline{H}(s)}_{S}$$

4.8 Systemantwort von LTI Systemen



$$\underline{X}(s)$$
 \cdot $\underline{\underline{H}}(s)$ $=$ $\underline{Y}(s)$ Bildbereich



$$x(t) * h(t) = y(t)$$
 Zeitbereich



5 Schaltvorgänge

5.1 Berechnen von Schaltvorgänge im Bildbereich

5.1.1 Laplacetransformation der Differentialgleichung

Aufgrund der Eigenschaften der Laplacetransformation wird aus einer DGL im Zeitbereich eine algebraische Gleichung im Bildbereich.

Differentiation im Zeitbereich:

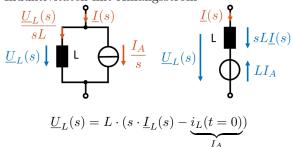
$$\frac{d}{dt}x(t) \circ - \bullet s \cdot \underline{X}(s) - x(0^+)$$

5.1.2 Schaltvorgänge mit ungeladenen Energiespeichern

- Das Eingangssignal wird mit der Laplacetransformation in den Bildbereich transformiert.
- 2. Die Übertragungsfunktion wird aus dem Schaltbild nach dem Schaltvorgang mit komplexer Wechselstromrechnung bestimmt
- 3. Das Ausgangssignal wird im Bildbereich berechnet: $\underline{Y}(s) = \underline{X}(s) \cdot \underline{H}(s)$
- 4. Rücktransformation in den Zeitbereich mit Hilfe der Tabellen
- 5. **NUR:** wenn alle Energiespeicher zum zeitpunkt t=0 energielos sind:
 - [i] Kondensatoren ungeladen
 - [ii] Spulen stromlos

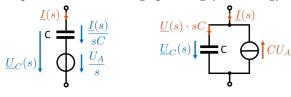
5.1.3 Schaltvorgänge mit geladenen Energiespeichern

- 1. Erstellen eines Ersatzschaltbild für den Schaltkreis nach dem Schaltvorgang:
 - Induktivitäten mit Anfangsstrom



$$\underline{I}_{L}(s) = \frac{\underline{U}_{L}(s)}{sL} + \frac{I_{A}}{s}$$

• Kapazitäten mit Anfangsspannung (Vorladung):



$$\underline{I}_{C}(s) = C \cdot (s \cdot \underline{U}_{C}(s) - \underbrace{u_{C}(t=0)}_{U_{A}})$$

$$\underline{U}_{C}(s) = \frac{\underline{I}_{C}(s)}{sC} + \frac{U_{A}}{s}$$

- 2. Die Übertragungsfunktion wird aus dem Ersatzschaltbild mit komplexer Wechselstromrechnung bestimmt
- 3. Das Eingangssignal wird mit der Laplacetransformation in den Bildbereich transformiert.
- 4. Das Ausgangssignal wird im Bildbereich berechnet: $\underline{Y}(s) = \underline{X}(s) \cdot \underline{H}(s)$
- 5. Rücktransformation in den Zeitbereich mit Hilfe der Tabellen