

Hybridkoppler in Theorie und Praxis

Hybridkoppler, auch Leistungsverteiler, Power Splitter, Power Divider oder einfach Hybride genannt, sind vor allem in der HF-Messtechnik unentbehrlich, werden aber beispielsweise auch in der Antennentechnik eingesetzt, um eine zirkulare Polarisierung zu erzeugen.

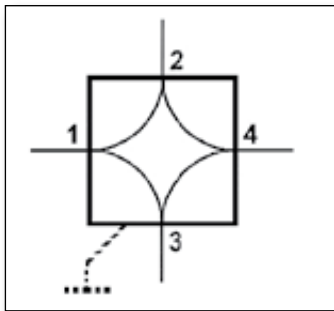


Bild 1: Schaltsymbol für einen Hybridkoppler

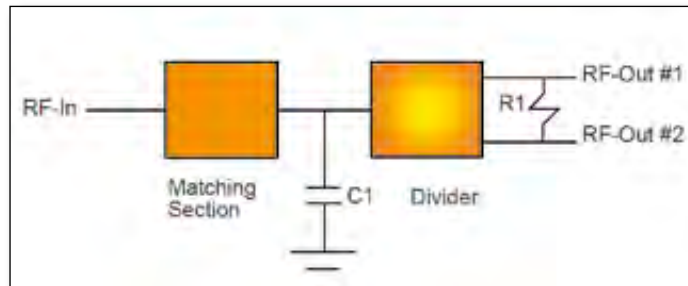


Bild 2: Grundaufbau der Hybridkoppler von Mini Circuits

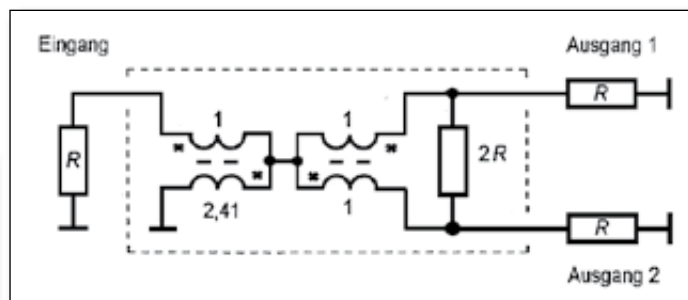


Bild 3: Schaltung des Standard-Hybridkopplers

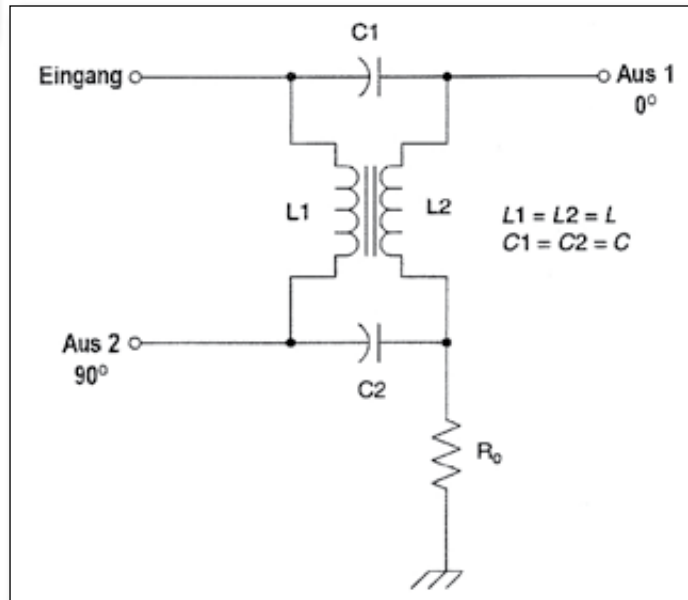


Bild 4: Schaltung eines 90°-Kopplers

Der Begriff Hybrid weist auf das Vorhandensein zweier verschiedenartiger Komponenten hin. Moderne Hybridkoppler bestehen aus mindestens einem Breitband-Übertrager und meist einem ohmschen Widerstand („Ballastwiderstand“). Dabei liegt eine kombinierte Brückenschaltung vor. Somit bewirken

diese Hybridkoppler grundsätzlich (betriebsmäßig) eine Dämpfung. Sie beträgt in der Regel beachtliche 3 dB.

Aufbau

Bild 1 zeigt das übliche Schaltsymbol. Die Vierpolstruktur rührt von der Brücke

her; ein Anschluss wird nicht genutzt. Wie Transformatoren und Baluns wirken Hybridkoppler bidirektional, können eine Leistung also aufteilen (in der Regel in zwei gleiche Teile, zu Messzwecken aber auch in deutlich verschieden große Teile) oder zwei Leistungen vereinen (dann Funktion als Leistungssummierer bzw. Combiner).

Bild 2 zeigt ein Blockschema. Die Matching Section sorgt zusammen mit C1 für Breitbandigkeit. R1 verbessert die Entkopplung zwischen den Ausgängen/Eingängen. Grundlage der Realisierung ist ein Magnetkern.

Anforderungen

Geringe Eigenleistungsaufnahme und hohe Entkopplung der Ports mit den kleineren Leistungen untereinander sind die wichtigsten Forderungen an Hybridkoppler. Wegen der Entkopplung nennt man sie auch Gabelschaltungen, ein Begriff aus der analogen Telefontechnik, wo eine hohe Entkopplung zwischen eigenem Mikrofon und Hörer erforderlich ist.

Neben hoher Effizienz und hoher Entkopplung fordert man von Hybridkopplern auch hohe Einsatzbandbreiten und exakte Anschlussimpedanzen (von z.B. je 50 Ohm).

Es ist möglich, dass die kleineren Signale in Phase liegen oder einen definierten Phasenversatz (meist von 180°) aufweisen.

Hybridkoppler in Standardschaltung

Liegt der Brückenwiderstand zwischen den beiden Ausgängen, so besteht zwischen diesen Phasengleichheit. Bild 3 bringt die entsprechende weltweit verbreitete Standardschaltung.

Benötigt werden zwei breitbandige Ringkern-Transformatoren und für 50 Ohm Systemimpedanz ein 100-Ohm-Widerstand. Zur Verbesserung der Entkopplung bei hohen Frequenzen schaltet man vom Verbindungs-

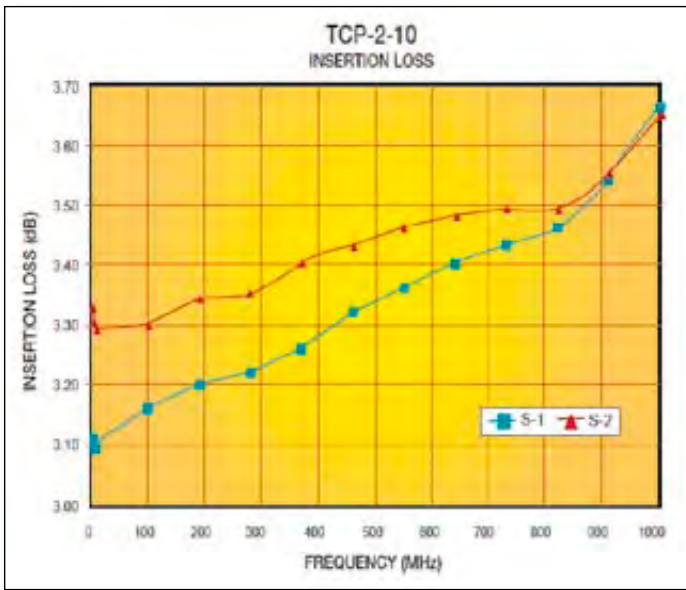


Bild 5: Einfügedämpfung über der Frequenz

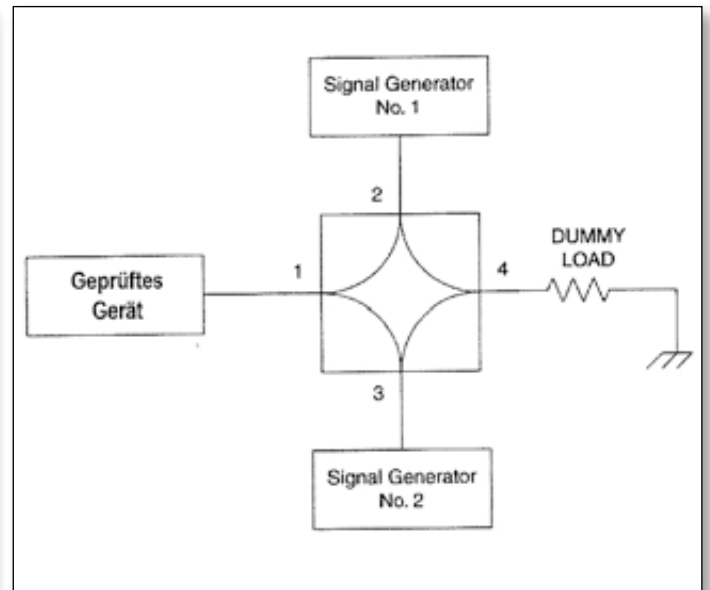


Bild 8: Kombination von zwei Signalquellen

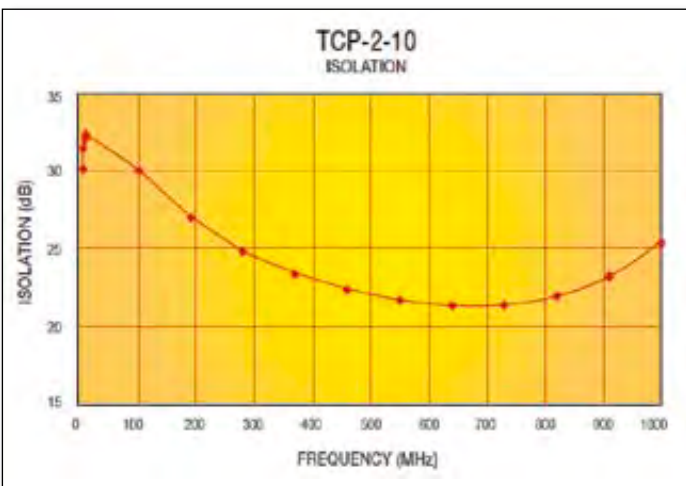


Bild 6: Entkopplung der Ports über der Frequenz

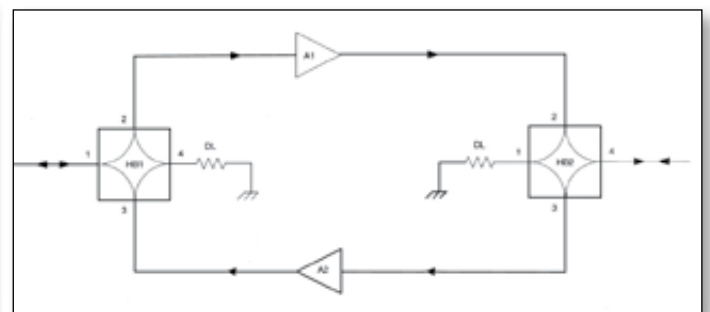


Bild 9: Bidirektionaler Verstärker („Repeater“)

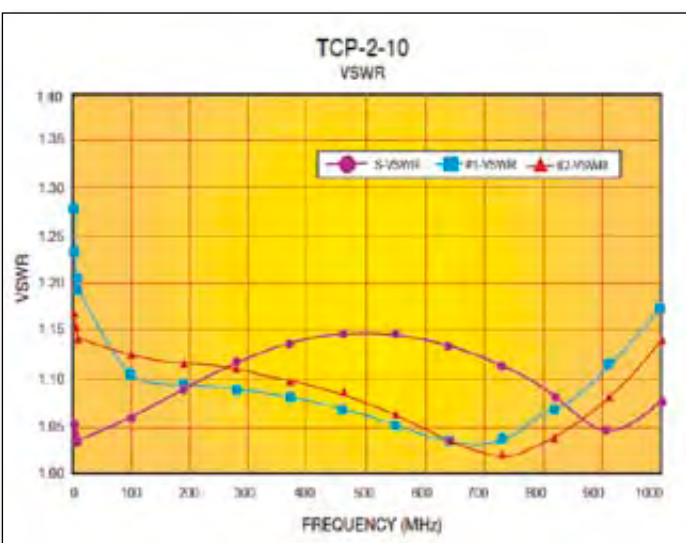


Bild 7: Anpassung an verschiedenen Ports über der Frequenz

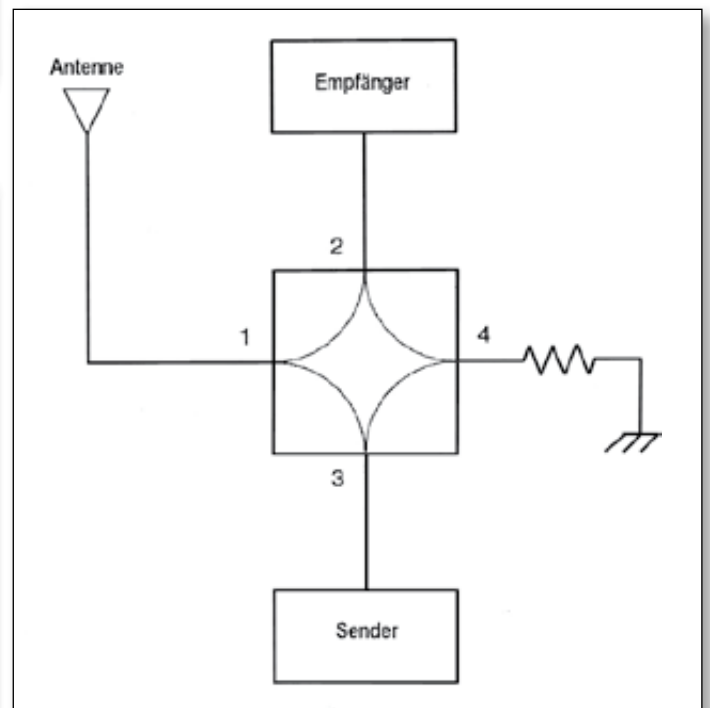


Bild 10: Entkopplung von Sender und Empfänger

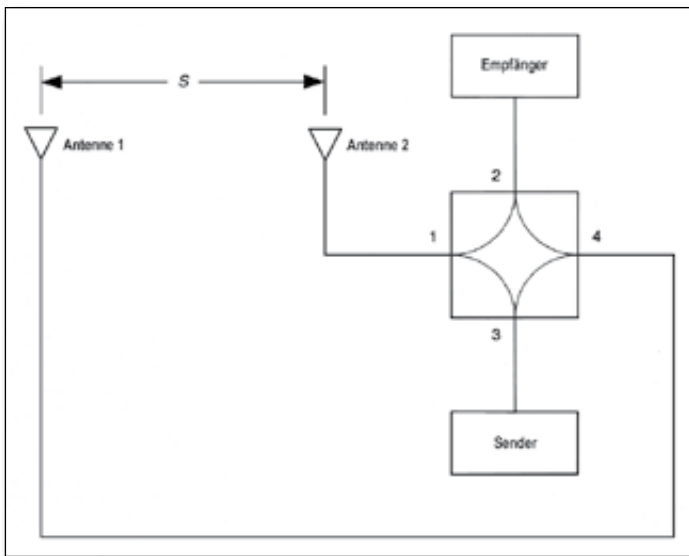


Bild 11: Entkopplung von Sender und Empfänger ohne Sendeleistungsverlust

punkt der Trafos gegen Masse einen kleinen Kondensator schalten (33...100 pF).

Der Übertrager (Spartrafo) im Eingang soll von 50 auf 25 Ohm transformieren; dazu hat er z.B. 4+10 Windungen. Der zweite Kern könnte dann z.B. 7+7 Windungen erhalten.

Die mögliche Entkopplung im Kurzwellenbereich liegt über 20 dB.

Hybridkoppler mit 90° Phasenversatz

In Bild 4 wird ein 90°-Koppler gezeigt. Auch hier beträgt die Betriebsdämpfung 3 dB, und der Einsatz als Summierer/Addierer ist möglich. Der Leitungstransformator mit L1 und L2 ist bifilar gewickelt; es gilt L1 = L2. Dieser Wert muss

$$R_0 / (8,88 \times f)$$

betragen, während für

$$C1 = C2 \text{ gilt: } 0,1126 / (f \times R_0).$$

R₀ ist die Systemimpedanz von z.B. 50 Ohm. Für f wird die -3-dB-Frequenz des Koppel-faktors eingesetzt.

Die Bandbreite dieses Kopplers beträgt etwa 20% der Mittenfrequenz für 1 dB Amplituden-Untersymmetrie.

Power Splitters von Mini Circuits

Von Mini Circuits stehen Hybridkoppler für kleine Leistungen für den Frequenzbereich 5...2.500 MHz zur Verfügung. Die Typen TCP-2-10 und TCP-2-25 sind für 50 Ohm vorgesehen, während die Typen TCP-10-75 für 75 Ohm gedacht sind. Aus Tabelle

1 sind die elektrischen Unterschiede erkennbar.

Die Grundfläche der kleinen Bausteine beträgt je nur 3,75x3,75 inch. Der Hersteller schlägt für jede der drei Ausführungen eine spezielle Layoutgestaltung vor, welche man im Datenblatt findet. Aus Tabelle 5 geht die jeweilige Pin-Konfiguration hervor.

Die näheren Spezifikationen dieser Koppler sind in den Tabellen 3 bis 5 aufgelistet.

Die Diagramme in den Bildern 5, 6 und 7 informieren über wichtige Kennlinienverläufe dieser Koppler TCP-2-10 (50 Ohm).

Anwendungen

In vielen Fällen kombinieren Hybridkoppler zwei Signalquellen, siehe Bild 8. Für eine Intermodulationsmessung z.B. sind das zwei HF-Generatoren mit gleicher Amplitude, aber leichtem Frequenzversatz. In all diesen Fällen geht die Leistung jedes einzelnen Generators im Koppler zwei Wege: zum zu prüfenden Gerät (Empfänger) und in die Dummy Load. Daher kommt je nur die halbe Leistung (-3 dB) am Empfänger an.

Weiter lassen sich mit Hybridkopplern gemäß Bild 9 bidirektionale Verstärker realisieren. Diese sind z.B. bei Zweiweg-Kabel-TV-Systemen erforderlich. Die Verstärker haben hier natürlich zunächst einmal die Funktion, die 3 dB Betriebsverlust der Koppler auszugleichen.

In Bild 10 ist schließlich gezeigt, wie ein Hybridkoppler zur Entkopplung zwischen Sender und

Empfänger genutzt werden kann. Die Entkopplung sollte hier besonders hoch sein. Ein weiteres Problem ist die möglicherweise absolut gesehen hohe Verlustleistung. Das Sendersignal wird um 3 dB gedämpft ausgestrahlt. Das Problem lässt sich jedoch beseitigen; in Bild 11 ist die Lösung zu sehen. In dieser Konfiguration wird eine zweite Antenne statt des Lastwiderstands angeschlossen. Abhängig von Abstand der Antennen und Phasenlage der darauf gegebenen Signale kann man nun auch ein Richtdiagramm erzeugen, das günstiger ist als das einer Antenne allein.

Eine zirkulare Polarisation bei der Abstrahlung eines Funksignals kann man mit einem 90°-Koppler erzeugen: Das Eingangssignal wird einmal ohne Phasenverschiebung ausgekoppelt und einmal mit einer Phasenverschiebung von 90°. Diese Ausgangssignale gibt man auf die beiden Antennenports.

FS

Quellen

Mini Circuits: Do it Yourself, Power Splitters (im Internet verfügbar)

Joachim von Parpart: Breitbandige Ferrit-Hochfrequenztransformer, Hüthig-Verlag 1997

Werner Schnorrenberg: Power Splitter & Power Combiner (im Internet verfügbar)

Joseph J. Carr: HF-Bauelemente und -Schaltungen, beam-Verlag, Marburg 2002

MODEL NO.	FREQ. RANGE (MHz)	ISOLATION (dB)			INSERTION LOSS (dB) ABOVE 3.0 (dB)				PHASE UNBALANCE (Deg.)			AMPLITUDE UNBALANCE (dB)			Price \$ ea.					
		L	M ^Φ	U	L	M ^Φ	U	L	M ^Φ	U	L	M ^Φ	U							
		Typ. Min.	Typ. Min.	Typ. Min.	Typ. Max.	Typ. Max.	Typ. Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Qty. (TD-49)						
TCP-2-10	5-1000	25	17	25	16	21	16	0.3	0.9	0.5	0.9	0.5	1.4	4	4	6	0.6	0.6	0.3	3.95
■ TCP-2-10-75	5-1000	24	14	29	19	30	16	0.3	1.4	0.3	0.9	0.6	1.3	6	4	3	1.2	0.6	0.5	4.95
TCP-2-25	200-2500			18	10					0.6	1.3					6			0.8	4.95

◆ When only specification for M range given, specification applies to entire frequency range.

■ Denotes 75 ohm model L=low range [f_L to 10 f_L] M=mid range [10 f_L to f_U/2] U=upper range [f_U/2 to f_U]

Tabelle 1: Wichtige Kenn- und Grenzwerte der drei Kopplertypen von Mini Circuits

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB)		Amplitude Unbalance (dB)	Isolation (dB)	Phase Unbalance (dB)	VSWR S	VSWR 1	VSWR 2
	S-1	S-2						
5.00	3.10	3.33	0.23	30.15	0.98	1.05	1.28	1.17
7.00	3.10	3.30	0.20	31.40	0.82	1.04	1.23	1.15
10.00	3.10	3.29	0.19	32.26	0.60	1.04	1.20	1.14
100.00	3.16	3.30	0.14	30.00	0.15	1.06	1.10	1.12
190.00	3.20	3.34	0.14	27.03	0.45	1.09	1.09	1.12
370.00	3.26	3.40	0.13	23.32	0.80	1.14	1.06	1.10
550.00	3.36	3.46	0.10	21.60	1.23	1.15	1.05	1.06
730.00	3.43	3.49	0.06	21.37	1.41	1.11	1.04	1.02
910.00	3.54	3.55	0.01	23.06	1.63	1.05	1.11	1.08
1000.00	3.66	3.65	0.01	25.26	1.74	1.07	1.17	1.14

Tabelle 2: Typische Kennwerte des Kopplers TCP-2-10

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB)		Amplitude Unbalance (dB)	Isolation (dB)	Phase Unbalance (deg.)	VSWR S	VSWR 1	VSWR 2
	S-1	S-2						
5.00	3.13	3.50	0.37	24.98	0.43	1.04	1.17	1.38
10.00	3.12	3.38	0.26	27.65	0.22	1.02	1.15	1.26
100.00	3.16	3.30	0.22	28.67	0.07	1.04	1.14	1.20
300.00	3.25	3.30	0.14	27.92	0.24	1.14	1.20	1.18
500.00	3.32	3.27	0.04	29.42	0.56	1.20	1.20	1.16
700.00	3.41	3.27	0.14	29.83	0.68	1.22	1.30	1.19
800.00	3.46	3.32	0.15	27.04	0.70	1.22	1.31	1.22
900.00	3.54	3.40	0.14	24.10	0.66	1.21	1.30	1.23
950.00	3.63	3.46	0.16	22.90	0.63	1.21	1.32	1.23
1000.00	3.64	3.52	0.11	21.81	0.56	1.20	1.35	1.23

Tabelle 3: Typische Kennwerte des Kopplers TCP-2-10-75

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB)		Amplitude Unbalance (dB)	Isolation (dB)	Phase Unbalance (deg.)	VSWR S	VSWR 1	VSWR 2
	S-1	S-2						
200.00	3.56	3.54	0.01	16.61	0.32	1.96	1.54	1.53
346.67	3.59	3.56	0.03	17.48	0.54	1.94	1.55	1.54
640.00	3.70	3.61	0.08	18.59	0.87	1.90	1.62	1.68
1080.00	3.73	3.54	0.19	20.91	1.22	1.85	1.68	1.60
1373.33	3.78	3.52	0.26	22.17	1.46	1.77	1.73	1.62
1520.00	3.74	3.45	0.29	22.38	1.52	1.73	1.73	1.63
1813.33	3.75	3.39	0.35	21.59	1.72	1.57	1.77	1.63
2106.67	3.78	3.39	0.39	19.71	1.96	1.44	1.81	1.67
2400.00	3.78	3.38	0.40	17.51	2.42	1.23	1.90	1.75
2523.08	3.83	3.44	0.39	16.64	2.60	1.19	1.88	1.74

Tabelle 4: Typische Kennwerte des Kopplers TCP-2-25

PIN CONFIGURATIONS	TCP-2-10	TCP-2-10-75	TCP-2-25
SUM PORT	6	6	6,5,2
PORT 1	3	3	3
PORT 2	4	4	4
GROUND	1	1	1
SHORT	2,6	2,6	
RESISTOR:	100Ω 3,4	150Ω 3,4	475Ω 3,4
CAPACITOR 1.5pF	2 To GND / 5 To GND	5 To GND	-

Operating Temperature: -20°C to 85°C. Storage Temperature: -55°C to 100°C

Tabelle 5: Pin-Belegung der drei Kopplertypen