

Fallstudienwettbewerb 2008

Go Wireless!

Testing for future communication standards

Aufgabe der Vorrunde

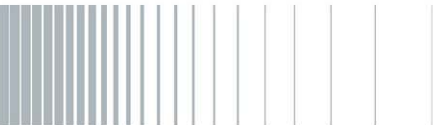
75 Years of
Driving
Innovation


ROHDE & SCHWARZ

Das Szenario

Sie sind Hochfrequenz-Entwicklungsingenieur bei einem Basisstations-Hersteller und gehören zu einem Team, das eine Basisstation für den potentiellen UMTS-Nachfolge-Standard LTE (Long Term Evolution) entwickeln soll.

Diese Fallstudie begleitet Sie in der Einarbeitung zu einer Ihrer Aufgaben, die nichtlinearen Eigenschaften eines Sendeverstärkers zu messen und zu bewerten.

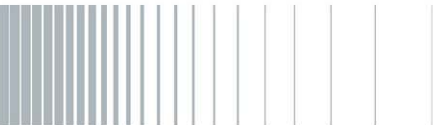


Ein neuer Standard

Aufgabe 1 (9 Punkte)

Für die Auswahl des Sendeverstärkers müssen Sie verstehen, wie der physikalische Layer von LTE definiert ist.

Erstellen Sie dazu eine Übersicht der bei LTE verwendeten Modulations- und Zugriffsverfahren, sowie deren Analog- Bandbreiten.



Was ist der Vorteil von OFDM?

Aufgabe 2 (4 Punkte)

Im Downlink (Datenübertragung Basisstation zu Mobile Terminal) wird bei LTE ein Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) verwendet.

Stellen Sie anschaulich dar, warum OFDM so gut für Übertragungskanäle mit Mehrwegeausbreitung geeignet ist.

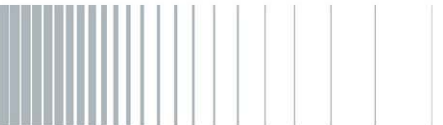


Signale mit vielen Trägern I

Aufgabe 3

Bisher haben Sie bei der Entwicklung von GSM-Basis-stationen mitgearbeitet. Bei GSM-Sendesignalen ist der Leistungsmittelwert P_{AVG} und der mögliche Maximalwert P_{PEAK} der Hüllkurvenleistung wegen der konstanten Hüllkurve gleich.

In Ihrem letzten Projekt haben Sie eine Basisstation entwickelt, die vier Kanäle gleichzeitig realisiert. Die vier Modulationssignale wurden über einen Power Combiner verlustfrei vor der Antenne zusammengeführt.



Signale mit vielen Trägern II

Aufgabenteil A (3 Punkte)

Jedes der vier GSM-Signale hat eine Leistung von 43 dBm. Wie groß sind P_{AVG} und P_{PEAK} (in Watt) am Ausgang des Combiners?

Aufgabenteil B (2 Punkte)

Bei einer Erweiterung des GSM-Standards wird 64QAM als Modulation verwendet. Das Verhältnis P_{PEAK}/P_{AVG} (auch PAR, Peak-To-Average-Ratio genannt) eines 64QAM-Signals ist 3,7 dB. Wie groß ist in diesem Fall das PAR am Ausgang des Combiners?

Signale mit vielen Trägern III

Aufgabenteil C (4 Punkte)

Die Leistung des Ausgangssignals des Power Combiners haben Sie mit Hilfe eines Richtkopplers und eines Breitband-Sensors NRP-Z81 vermessen. Der Richtkoppler hatte eine Koppeldämpfung von 30 dB.

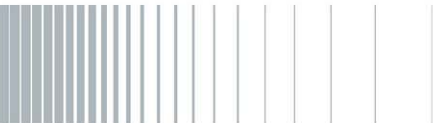
Wie groß musste das Dämpfungsglied vor dem Sensor mindestens sein, damit P_{PEAK} noch gemessen werden kann (Es wird 64QAM verwendet)?

Signale mit vielen Trägern IV

Aufgabenteil D (5 Punkte)

Wie groß muss die Spannungsfestigkeit der am Ausgang des Combiners befindlichen Komponenten (Stecker, Kabel etc.) sein, damit bei kurzzeitiger Totalreflexion (z. B. Bruch des Antennenkabels) keine Spannungsüberschläge auftreten?

Anmerkung: Es handelt sich um ein 50-Ohm-System.

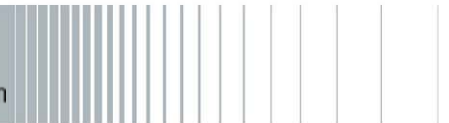


OFDM hat sehr viele Träger...

Bei der vorher angesprochenen Entwicklung der GSM-Basisstation ist Ihnen in Erinnerung geblieben, dass viele Träger in einem Signal zu einem großen PAR führen. Ist z. B. $PAR = 10$ müssen Sie im Sendeverstärker eine Aussteuerungsreserve von 10 dB vorhalten.

Aufgabe 4 (3 Punkte)

Im Downlink hat LTE bis zu 1200 Subträger, die alle mit 64QAM moduliert sind. Welche Aussteuerungsreserve benötigen Sie aufgrund der vorhergehenden Überlegungen?



Panik!!!

Die eben hergeleitete Anforderung an die Aussteuerungsreserve lässt Sie als HF-Entwickler verzweifeln. Es gibt keine bezahlbaren und leistungseffizienten Sendeverstärker die so eine Aussteuerungsreserve mit ausreichender Linearität aufweisen. Voller Sorge wenden Sie sich an einen der Systemdesigner der Firma, der bei der Standardisierung von LTE mitarbeitet, um mit ihm dieses Problem zu diskutieren.

Dieser sagt Ihnen (mit einem kleinen Hinweis auf den Zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung), dass ab einer größeren Zahl von Trägern immer 10,4 dB Aussteuerungsreserve zur verzerrungsfreien Übertragung von über 99,9% der Signalamplituden ausreichen. Die restlichen Verzerrungen können vernachlässigt werden.

Wahrscheinlichkeiten

Aufgabe 5 (5 Punkte)

Erklären Sie anschaulich, wie der Systemdesigner auf diese Aussage kommt?

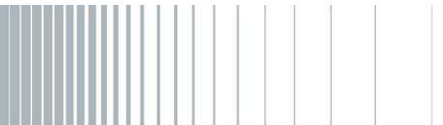


Wer stört wen?

Die wesentliche Störgröße beim Sendeverstärker sind dessen nichtlineare Verzerrungen. Es wird hierbei zwischen Inband- und Nachbarkanalstörungen unterschieden. Die Inbandstörungen führen zu einer Verfälschung des Nutzsymbols, während die Nachbarkanalstörungen die direkt angrenzenden Nutzbänder stören.

Aufgabe 6 (5 Punkte)

Warum sind bei Mobilfunk-Systemen die Nachbarkanalstörungen kritischer als die Inbandstörungen?

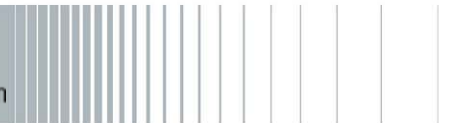


Intercept Points

Die Nichtlinearität eines Sendeverstärkers wird über dessen Intercept-Punkte (IP2, IP3, IP5 ...) charakterisiert. Die LTE-Signale werden bei einer Trägerfrequenz von ca. 2,2 GHz ausgesendet.

Aufgabe 7 (3 Punkte)

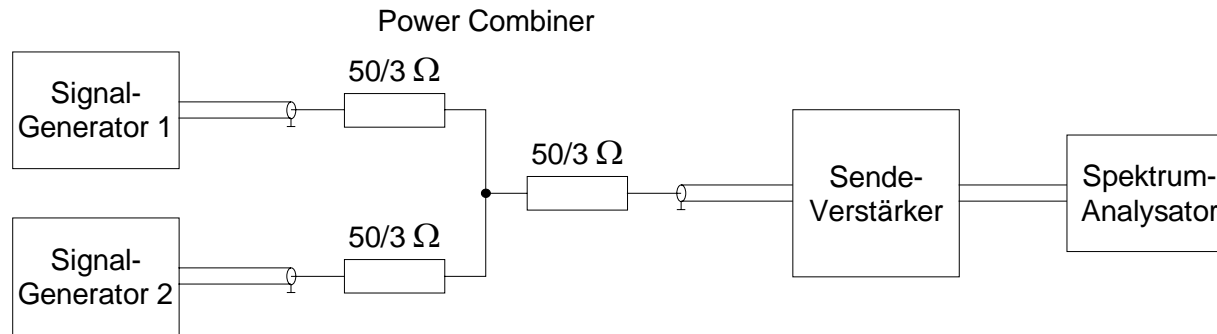
Zur Charakterisierung der Nichtlinearität des Sendeverstärkers möchten Sie den IP3 vermessen. Erläutern Sie, warum der IP2 uninteressant ist?



Power Combiner

Aufgabe 8 (6 Punkte)

Zunächst verwenden Sie die folgende Messanordnung zur Bestimmung des IP3 des Sendeverstärkers:



Wie groß ist die Einfügedämpfung des verwendeten Power Combiners? Mit welcher Dämpfung „sieht“ der Signalgenerator 2 das Ausgangssignal des Signalgenerators 1 an seinem Ausgang?

Wer misst misst Mist

Da Sie ein vorsichtiger HF-Entwickler sind, messen Sie zunächst das Ausgangssignal des Power Combiners. Leider zeigt die Messung schon relevante Intermodulationsprodukte. Die Messung des Sendeverstärkers ist so nicht möglich. Die beobachtete Intermodulation kann nur im Spektrumanalysator oder in den Signalgeneratoren auftreten.

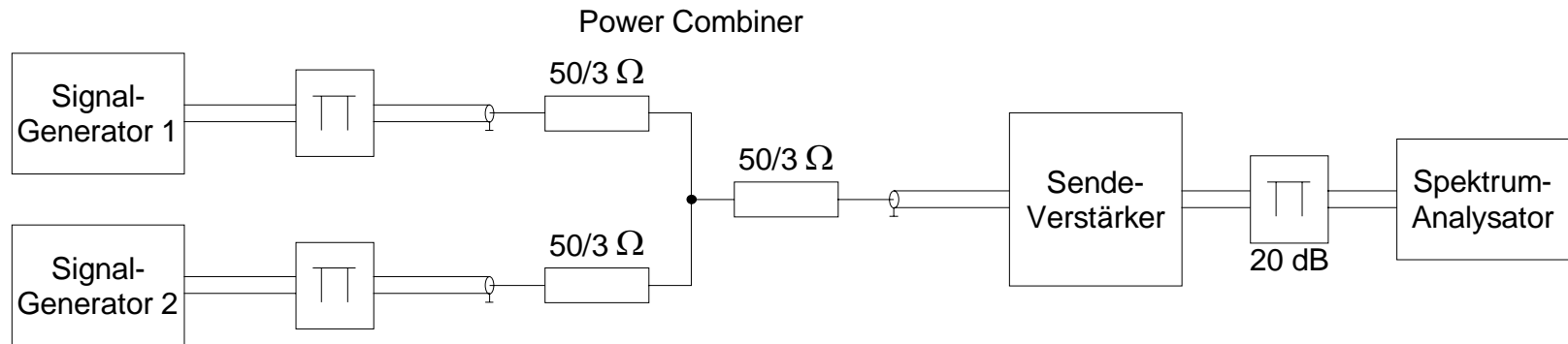
Aufgabe 9 (3 Punkte)

Wie können Sie ausschließen, dass die Intermodulation im Spektrumanalysator auftritt?



Messung der Intermodulation des Sendeverstärkers

Da hier die Intermodulation in den Signalgeneratoren auftritt, werden diese durch zwei Dämpfungsglieder entkoppelt. Weiterhin wird zur Vorsicht zwischen dem Sendeverstärker und dem Spektrumanalysator ein 20-dB-Dämpfungsglied geschaltet. Somit ergibt sich die folgende Messanordnung:



Die Signalgeneratoren stellen Sie auf die Frequenzen 2,2 GHz und 2,2 GHz +15 kHz ein und führen zwei Messungen bei unterschiedlichen Pegeln durch.

Analyse der Messungen I

Aufgabe 10 (5 Punkte)

An welchen Merkmalen erkennen Sie, dass die Signale bei den Markern Nr. 1 und Nr. 4 die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung der Eingangssignale sind?

Aufgabe 11 (5 Punkte)

Bestimmen Sie den IP3 des Sendeverstärkers (bezogen auf die Ausgangssignale).



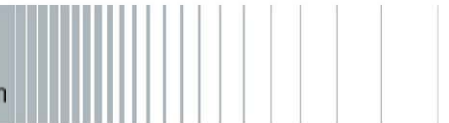
Analyse der Messungen II

Aufgabe 12 (6 Punkte)

Im Downlink soll OFDM mit 1200 belegten Trägern verwendet werden. Die mittlere Sendeleistung des OFDM-Signals beträgt 20 W. Alle Träger haben die gleiche Leistung.

Welche Leistung haben die einzelnen Träger?

Die Intermodulation **zweier Träger** darf im Nachbarkanal -62 dBc nicht überschreiten. Ist der vermessene Sendeverstärker geeignet?



Und los geht's!

Wir wünschen Ihnen viel Spaß und Erfolg beim Lösen der gestellten Aufgaben.

Ein kleiner Hinweis:

Bei den wenigsten Aufgaben sind aufwendige Rechnungen notwendig! Sie können vielmehr durch anschauliche Überlegungen gelöst werden.

