

Linearization of power amplifiers by means of digital predistortion

Linearisierung von Leistungsverstärkern mittels digitaler Vorverzerrung

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur

vorgelegt von
Nazim Ceylan
Erlangen - 2005

Als Dissertation genehmigt von
der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 07.04.2005
Tag der Promotion: 17.10.2005
Dekan: Prof. Dr. Alfred Leipertz
Berichterstatter: Prof. Dr. Robert Weigel
Prof. Dr. Christian Schäffer

Kurzfassung

In der neuen Generation von Mobilfunksystemen (WCDMA, CDMA2000, EDGE) werden Modulationsformate implementiert, die das jeweilige Frequenzspektrum effizient ausnutzen. Die Schlüsselvoraussetzung dafür ist eine hohe Linearität des Leistungsverstärkers (PA). Diese Komponente des Senders weist zudem den höchsten Leistungsverbrauch auf, so dass sie neben den Anforderungen an die Linearität auch über einen hohen Wirkungsgrad verfügen muss. Dieser Umstand ist besonders bei batteriebetriebenen Systemen von grosser Bedeutung.

Das Ziel, einen PA mit hoher Linearität und gleichzeitig hohem Wirkungsgrad zu entwerfen führt zu Anforderungen, die sich gegenseitig ausschließen, so dass ein Kompromiss zwischen Wirkungsgrad und Linearität eingegangen werden muss. Die Arbeitspunkte von PA's werden gewöhnlich in einem Bereich weit unterhalb der Sättigung (back-off) betrieben, um die Spezifikationen bezüglich ihrer Linearität einzuhalten, welche aber auf einen niedrigen Wirkungsgrad hinausführt. Eine mögliche Lösung ist es, PAs in der Nähe des Sättigungsbereiches zu betreiben, wo sie einen hohen Wirkungsgrad haben. Ihre Eigenschaften bzgl. der Linearität werden dann durch Linearisierungsverfahren verbessert.

Es gibt verschiedene Linearisierungsmethoden für PA, die im Wesentlichen durch die Oberbegriffe Feedback, Feedforward und Vorverzerrung klassifiziert werden können. Im Rahmen dieser Dissertation wird das weite Feld der Linearisierung von PA auf die Untersuchung sog. "Look-up-Table" (LUT) basierter gedächtnisloser digitaler Vorverzerrung (MDP) eingeschränkt. Dieses Verfahren wird favorisiert, da der PA für die hohen Anforderungen der Leistungsfähigkeit dimensioniert werden und gleichzeitig ihre Linearität mit der MDP unabhängig davon verbessert werden kann. Im Weiteren wird es im digitalen Basisband realisiert und ist vorteilhaft aufgrund seiner hohen Leistungsfähigkeit, der Einfachheit, dem niedrigen Leistungsverbrauch, der Zuverlässigkeit, der Flexibilität, den niedrigen Kosten und der Grösse. Diese Kombination ergibt eine flexible Designmethode, um PA mit guter Linearität und gleichzeitig gutem Wirkungsgrad zu entwerfen.

Digitale Vorverzerrung ist dafür bekannt, eine Linearisierungsmethode mit hohem Leistungsverbrauch und komplizierter Linearisierungsverfahren zu sein, die man in Basisstationen anwendet, wo äusserst hohe Anforderungen an die Linearität gestellt werden. Studien zu MDP zeigten, dass diese Methode auch für Mobilstationen anwendbar ist und eine signifikante Linearitätsverbesserung erreicht werden kann.

Die hauptsächlichen Leistungen dieser Arbeit sind:

- Eine genaue und einfache PA-Charakterisierungsmethode wird vorgeschlagen. Die Zahl der erforderlichen Analogbestandteile der herkömmlichen Methode wird reduziert, und ein in Systemsimulationen verwendbares Verhaltensmodell wird erstellt [1, 2].

- Der LUT basierte MDP ist im Stande, den Senderwirkungsgrad in WCDMA und EDGE Mobilstationen bedeutsam zu verbessern. Die Methode ist dazu fähig, die in einem WCDMA-System maximal erreichbare lineare Ausgangsleistung um 2 dB und den durchschnittlichen System-Wirkungsgrad um 20% zu verbessern, im Vergleich zu einem System ohne Vorverzerrung [3]. Der verwendete PA ist für ein TDMA - System dimensioniert. In EDGE ist eine Verbesserung der linearen Ausgangsleistung von 3.5 dB zu verzeichnen und der Wirkungsgrad an der maximal erreichbaren Ausgangsleistung wird von 15% auf 23% erhöht mit einem vorhandenen GSM PA [2]. Die benötigten Modifizierungen in vorhandenen Systemen wurden bestimmt, um MDP zu implementieren.
- Eine neue LUT Adressierungsmethode wird vorgeschlagen, die den Leistungsverbrauch im MDP reduzieren kann [4]. Das ist nützlich in Sendern, die ihre Basisbandsignale in kartesischer Form haben.
- Es wird geprüft, ob dass LUT basierte MDP dazu fähig ist, die Linearität der hocheffizienten Senderarchitektur Envelope-Elimination and Restoration (EER) in EDGE Mobilstationen mit PAs in Sättigung zu verbessern. Spezifikationen werden erfüllt für Ausgangsleistungsniveaus von 20 bis 29.5 dBm mit nur einer Netzspannungsabstimmung. Durch zusätzliche Bias-Modulation kann die Systemleistung weiter verbessert werden.

Abstract

In new generation mobile communication systems (WCDMA, CDMA2000, EDGE), where spectrum efficient linear modulation formats are used, power amplifier (PA) linearity is a key requirement. On the other hand the PA is one of the most power consuming components in a mobile communication system. Therefore its power added efficiency (PAE) and linearity must be simultaneously high especially in battery operated handsets. However, normally a compromise between PAE and linearity has to be accepted in a design. PAs are usually operated with a back-off in order to fulfill linearity specifications, which in turn results in lower power efficiency. One possible solution is to operate PAs near to saturation where they are highly nonlinear but efficient, and linearize them by using some external circuitry.

There are different PA linearization methods available which can be classified mainly as feedback, feedforward and predistortion. This thesis deals mainly with look-up table (LUT) based memoryless digital predistortion (MDP) realized in digital baseband due to its high performance, simplicity, low power consumption, reliability, flexibility, low cost and size. It is attractive because the PA can be designed for high efficiency and the linearity can be improved independently with MDP. The combination of both gives design flexibility for achieving good linearity and efficiency at the same time. Although digital predistortion is known to be a high power consuming and complicated linearization method applicable in base stations where extremely high linearity is required, the studies on MDP showed that with a careful design it is also applicable in handsets resulting in significant linearity improvement.

The main achievements of this thesis are:

- An accurate and simple PA characterization method is proposed. The number of required analog components in the conventional measurement setup is reduced and a behavioral model based on large signal S-parameters usable in system simulations is generated [1, 2].
- The LUT based MDP is able to improve the transmitter efficiency significantly in WCDMA and EDGE handsets. The method is proved to be capable of increasing the maximum achievable linear output power by 2 dB and average system efficiency by 20% compared to without predistortion case in WCDMA using an available linear PA designed for TDMA [3]. In EDGE the improvement in linear output power is 3.5 dB and the efficiency at maximum linear output power is increased from 15% to 23% using an available GSM PA [2]. Required modifications in available systems are determined in order to implement the system.
- A novel LUT addressing method capable of reducing power consumption in MDP systems is proposed [4]. It is useful in transmitters having baseband signals in Cartesian form.

Explore Litigation Insights

Docket Alarm provides insights to develop a more informed litigation strategy and the peace of mind of knowing you're on top of things.

Real-Time Litigation Alerts



Keep your litigation team up-to-date with **real-time alerts** and advanced team management tools built for the enterprise, all while greatly reducing PACER spend.

Our comprehensive service means we can handle Federal, State, and Administrative courts across the country.

Advanced Docket Research



With over 230 million records, Docket Alarm's cloud-native docket research platform finds what other services can't. Coverage includes Federal, State, plus PTAB, TTAB, ITC and NLRB decisions, all in one place.

Identify arguments that have been successful in the past with full text, pinpoint searching. Link to case law cited within any court document via Fastcase.

Analytics At Your Fingertips



Learn what happened the last time a particular judge, opposing counsel or company faced cases similar to yours.

Advanced out-of-the-box PTAB and TTAB analytics are always at your fingertips.

API

Docket Alarm offers a powerful API (application programming interface) to developers that want to integrate case filings into their apps.

LAW FIRMS

Build custom dashboards for your attorneys and clients with live data direct from the court.

Automate many repetitive legal tasks like conflict checks, document management, and marketing.

FINANCIAL INSTITUTIONS

Litigation and bankruptcy checks for companies and debtors.

E-DISCOVERY AND LEGAL VENDORS

Sync your system to PACER to automate legal marketing.