



Symposium

EME 2005

5. - 7. September 2005

hier ggf. Platz für
ein Firmenlogo

oder

Textfeld einfach
löschen

Titel des Beitrages:	UWB-Halbleiterpulser –Konzepte und Realisierungen mit COTS-Bauteilen
Name des Autors/-en:	T.Ehlen
ggf. Name des Vortragenden	
Firma, Dienststelle:	FH-Gelsenkirchen
Anschrift:	
Emailadresse:	Tilo.ehlen@fh-gelsenkirchen.de
Besonderheiten:	

UWB-HALBLEITERPULSER –KONZEPTE UND REALISIERUNGEN MIT COTS-BAUTEILEN

T.Ehlen¹

1. FH-Gelsenkirchen,
GERMANY, E-mail: tilo.ehlen@fh-gelsenkirchen.de

Keywords: UWB, semiconductor, COTS, avalanche

ABSTRACT

Semiconductor UWB pulser based on special avalanche transistors and diodes are able to generate kilovolts subpicosecond pulses. When changing the single source expensive semiconductors with common commercial of the shelf (COTS) diodes or transistors the same pulses can be generated.

EINLEITUNG

Mikrowellenwaffen basieren vorwiegend auf der Verwendung von Hochspannungspulsern, die entweder direkt geschaltet abgestrahlt werden (UWB), in einem Resonator gefiltert werden (DS) oder als Versorgungsspannung für Reltrons und Magnetrons dienen (HPM). Während in konventionellen Hochspannungspulsern Überschlagsschalter (Spark-Gaps) in Marx-Generatoren und Pulsformern Anwendung finden, versucht man auch hier diese durch neuere Halbleiterschalterkonfigurationen zu ersetzen. Zielsetzung ist dabei die Begrenzung der Spark-Gap-basierten Systeme in Bezug auf Pulswiederholrate, Lebensdauer und Wartungsfreudigkeit durch Verwendung von Halbleiterschaltern zu umgehen. In heute verfügbaren Halbleiterpulsern werden entweder Step-Recovery-Dioden (IRD's) als schnell schließende Schalter oder auf dem Lawinendurchbruch basierende schnelle öffnende Schalter verwendet – die Avalanche-Dioden oder Transistoren.

Beiden Halbleitertypen ist jedoch der Nachteil zu eigen, dass sie kurzfristig in Betriebsregionen arbeiten, die eine schnelle Bauteilalterung bedingen. Zudem

werden Sie jeweils nur von einem einzigen Halbleiterhersteller geliefert. Diese Single-Source Verfügbarkeit und Herstellerabhängigkeit macht sie unattraktiv für große Stückzahlen. In diesem Beitrag werden Halbleiterpulsler vorgestellt, die mit herkömmlichen kommerziellen Dioden und Transistoren arbeiten und die gleichen Pulscharakteristiken besitzen wie Pulsler mit speziellen Avalanche-Transistoren oder –Dioden.

REFERENZPULSER – NACHBAU MIT AVALANCHE DIODEN

Als Referenzpulsler wurde an der FH-Gelsenkirchen ein 3kV-UWB-Halbleiterpulsler mit speziellen Avalanche-Transistoren realisiert. Das Arbeitsprinzip ist eingliedrig in *Abbildung 1* dargestellt. Eine Gleichspannungsquelle lädt den Lastkondensator C_L langsam über R_1 auf. Beim Überschreiten der statischen Avalanche-Spannung wird die Diode leitend und C_L entlädt sich sehr schnell über die Diode. Die resultierende Spannungsflanke wird über den Koppelkondensator C_p an den Ausgang weitergeleitet.

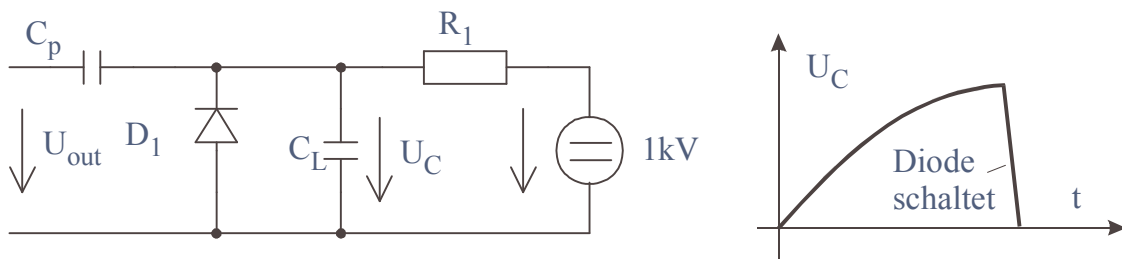


Abbildung 1: Prinzip eines eingliedrigen UWB-Pulsers mit Avalanche-Diode

Da die Dioden typischerweise nicht über ihre statische Durchbruchspannung aufgeladen werden können, müssen zur Erzielung höherer Spannungen mehrere Glieder kaskadiert werden. Jede Diode ist zunächst bis fast an die Grenze ihrer Durchbruchspannung negativ vorgespannt (ca. 1kV). Wird nun der Schalter geschlossen entlädt sich zunächst C_{L1} . An D_1 herrscht nun eine Spannung von 2kV – die Diode D_1 bricht durch und wird niederohmig. Damit entlädt sich C_{L2} . Folgend bricht D_2 durch und entlädt C_{L3} usw. Die schnelle Entladeflanke von C_{L4} von 4kV auf 0V wird über C_p an die Last weitergekoppelt.

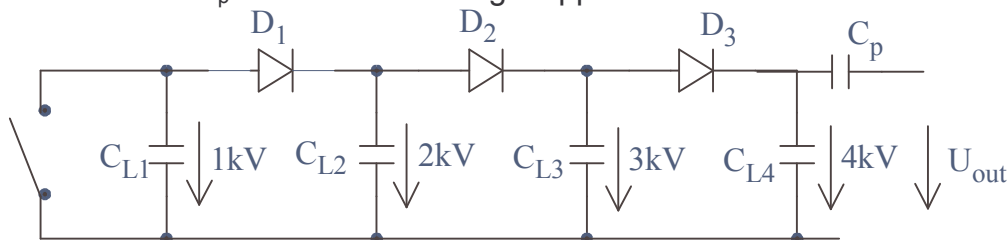


Abbildung 2: Prinzip eines viergliedrigen Avalanche-Pulsers

Abbildung 3 zeigt die Realisierung. Über eine DC-Hochspannungsquelle sind die Z-Dioden in Reihe geschaltet. An jeder Z-Diode liegt eine konstante Spannung – hier 1kV – an. Damit werden die Ladekondensatoren von 1kV bis 3kV aufgeladen. Ein Triggerpuls zündet den ersten Transistor – der 1kV-Kondensator entlädt sich – die Sperrspannung an D_2 überschreitet den kritischen Wert – D_2 schaltet durch – der 2kV-Kondensator entlädt sich usw. Schlussendlich wird die 3kV Pulsflanke über C_p an einen externen Verbraucher weitergeleitet. Die Avalanche-Dioden können ohne funktionelle Einbußen durch Avalanche-Transistoren ersetzt werden. Dabei sind Basis und Emitter miteinander zu verbinden.

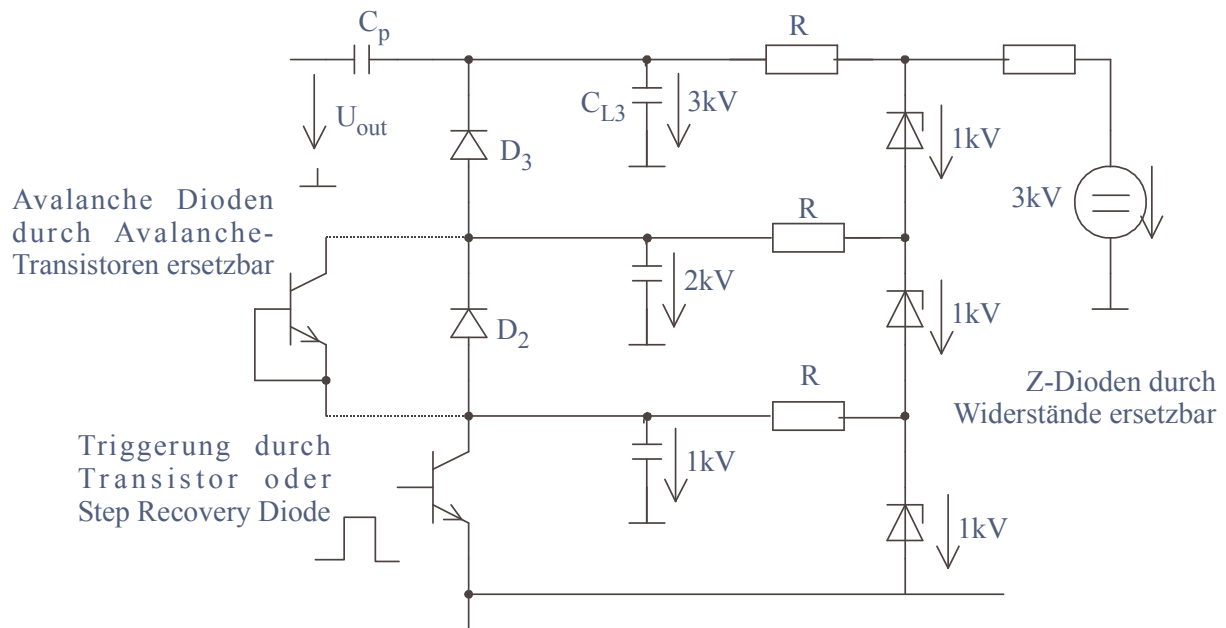


Abbildung 3: Realisierung eines dreigliedrigen Avalanche-Pulsers für eine Ausgangsspannung von 3kV.

Mit jedem Glied erhöht sich der Ausgangspuls um 1kV – gleichzeitig ist die DC-Ladespannung um 1kV zu erhöhen. Ausgangspulsamplitude = DC-Ladespannung. Eine weitere Spannungserhöhung wird durch die Realisierung einer Marx-Struktur geboten – paralleles Laden von Kondensatoren mit folgender Reihenschaltung dieser geladenen Kondensatoren. *Abbildung 4* zeigt das Prinzip. Wenn die Dioden durchschalten, addieren sich die Einzelspannungen der Koppelkondensatoren zur Gesamtausgangsspannung – hier beim dreistufigen Marx auf theoretisch 9kV.

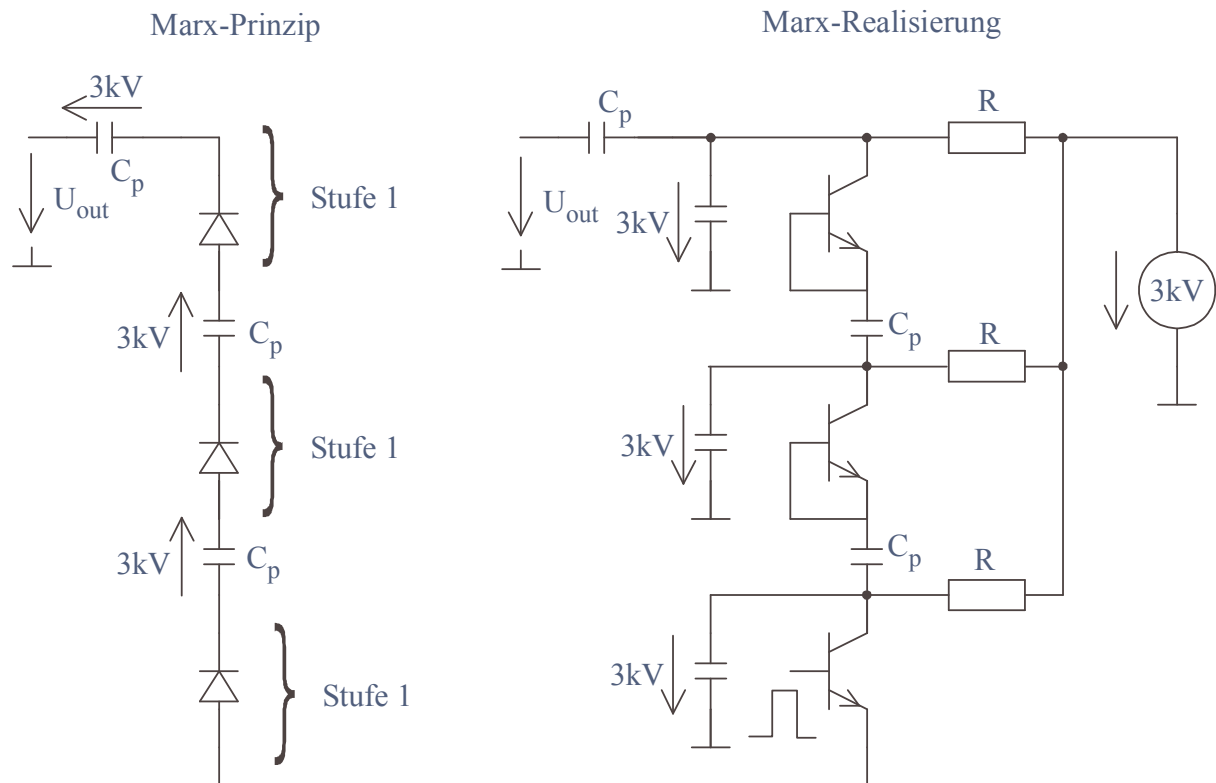


Abbildung 4: Realisierung eines dreistufigen Marxgenerators. Jede Stufe besteht aus vielen Gliedern – hier ist jedoch nur ein Glied gezeichnet. Links Prinzip; rechts Realisierung mit Avalanche Transistoren

In Abbildung 5 ist die Realisierung des Avalanche-Pulser Nachbaus abgebildet. Er besteht aus einer dreistufigen Marxstruktur. Die erste Stufe dient als Triggerstufe mit 12 Avalanche-Transistoren a 160V Ladespannung, gefolgt von der 2.Stufe von 2x10 Transistoren a 270 V. Die dritte Stufe entspricht der 2. Stufe.

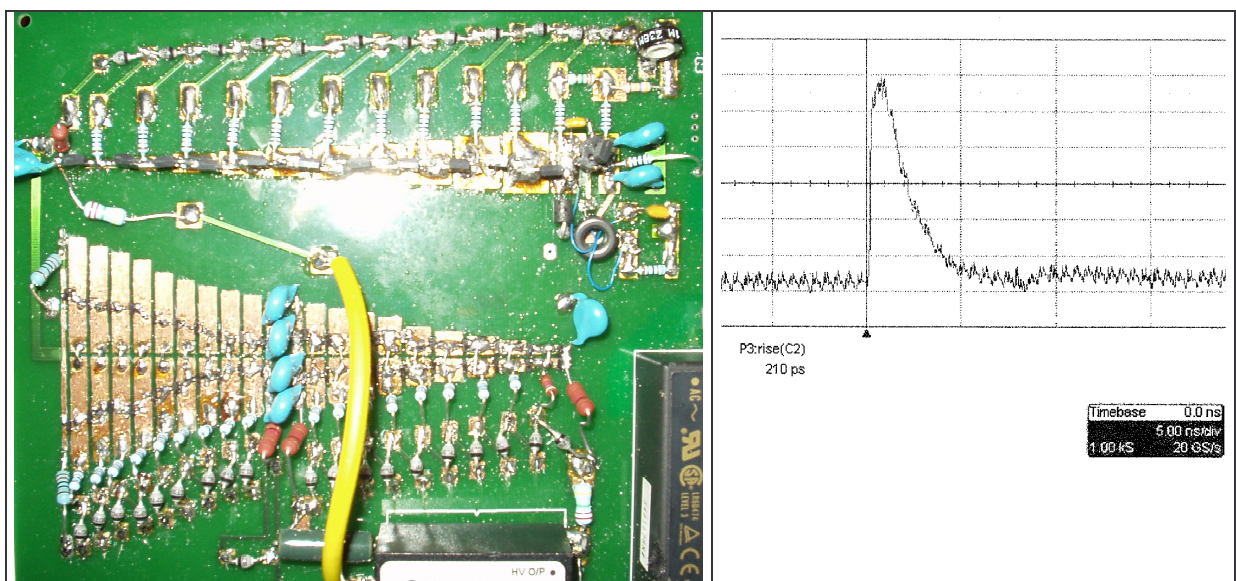
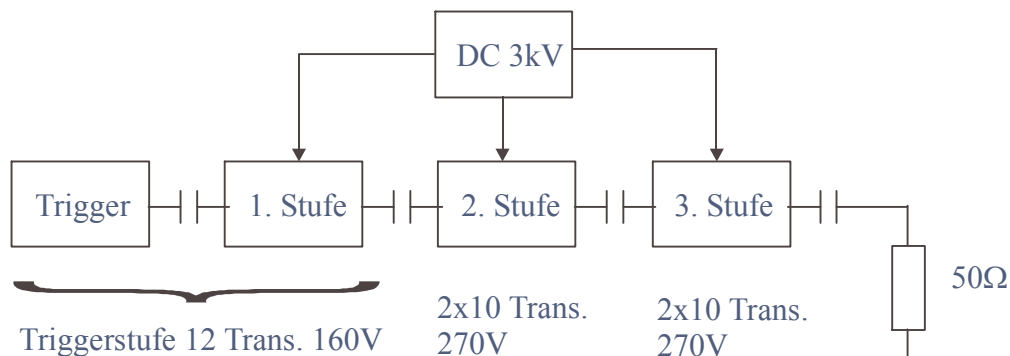


Abbildung 5: realisierte Referenzplatine und gemessener UWB-Puls (5ns/div; 3kVpp)

Mit einem Preis von 4Euro/Transistor und über 50 Transistoren sind diese die Hauptkostenträger der Schaltung. Erreicht werden statt der theoretischen 9kV lediglich 3kV bei einer Anstiegszeit von ca. 210ps. Grund sind die Zuleitungsinduktivitäten der Transistoren und die nur teilweise Entladung der jeweiligen Kondensatoren. Zur Reduktion der parasitären Induktivitäten und zur Minderung des Transistorstromes werden in der zweiten und dritten Stufe je zwei Transistoren parallel geschaltet. Die Ladekondensatoren C_L sind als Mikrostripleitungen realisiert und werden in Richtung Ausgang immer kleiner. Grund ist die endliche Ladungsmenge Q , die zur Vermeidung einer Transistorzerstörung nicht überschritten werden darf. Wegen $Q=CU$ und der steigenden Spannung U muss daher C stetig verkleinert werden.

DER TRANSIENTE AVALANCHE-EFFEKT

Die Geschwindigkeit des Schaltprozesses wird nicht vom statischen Avalanche-Effekt sondern vom transienten Avalanche-Effekt erzielt. Dieser Effekt, zuerst bei TRAPATT-Dioden (Trapped Plasma Avalanche Transit-Time) 1967 von Prager [2] beobachtet, wurde später auch von Grekhov [3] für die russischen Pulser

aufgegriffen. Der transiente Avalanche (Lawinen) Prozess unterscheidet sich vom konventionellen Lawinen-Durchbruch dadurch, dass die Geschwindigkeit der Ladungsträgererzeugung nicht durch die Sättigungsgeschwindigkeit der Ladungsträger $v_{sat} \sim 10^7 \text{ cm/sec}$ begrenzt ist. Im TRAPATT Prozess wandert die ionisierende zusammenbrechende Region mit $10-100v_{sat}$ und formt dabei eine Avalanche-Schock-Welle.

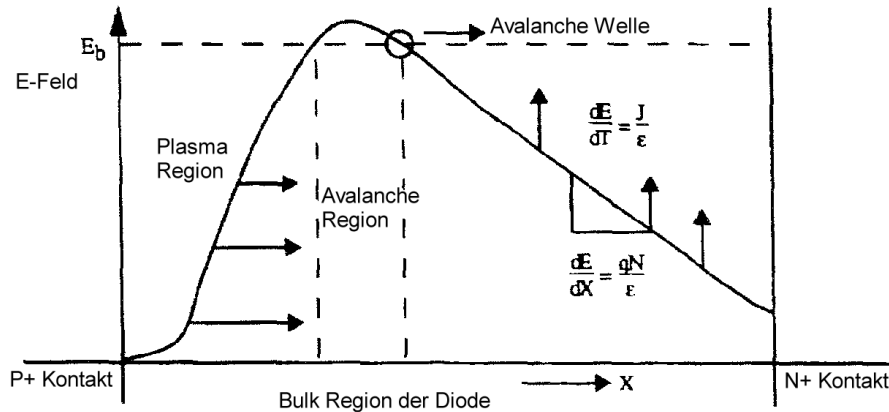


Abbildung 6: Prinzip der Avalanche-Schock-Wellen-Ausbreitung beim TRAPATT-Prozess

Der transiente Avalanche Prozess kann quasi bei allen P+NN+ Halbleitern beobachtet werden – also auch bei herkömmlichen Dioden und Transistoren. Bedingung ist jedoch, dass bei der Anregung die zeitliche Spannungsänderung dU/dt einen kritischen Wert überschreitet [1].

$$\frac{dU}{dt} > 2.74 \left(\frac{1 \text{ kV}}{V_s} \right)^{1/6} [\text{kV/ns}] \text{ mit der statischen Durchbruchspannung } V_s$$

PULSER MIT COTS-TRANSISTOREN UND DIODEN

Auf Grundlage obiger Gleichung wurden die Avalanche-Transistoren sukzessive durch geeignete handelsübliche Transistoren und Dioden ersetzt (COTS), die ebenfalls den transienten Avalanche-Effekt aufwiesen, jedoch nur ein Bruchteil des Preises der Avalanche-Transistoren ausmachten. Die Marx-Stufen wurden zwischen drei und vier variiert. *Abbildung 7* zeigt die durch COTS-Dioden ersetzte erste Triggerstufe, *Abbildung 8* einige Varianten der zweiten und dritten Marxstufe mit COTS-Transistoren und COTS-Dioden.

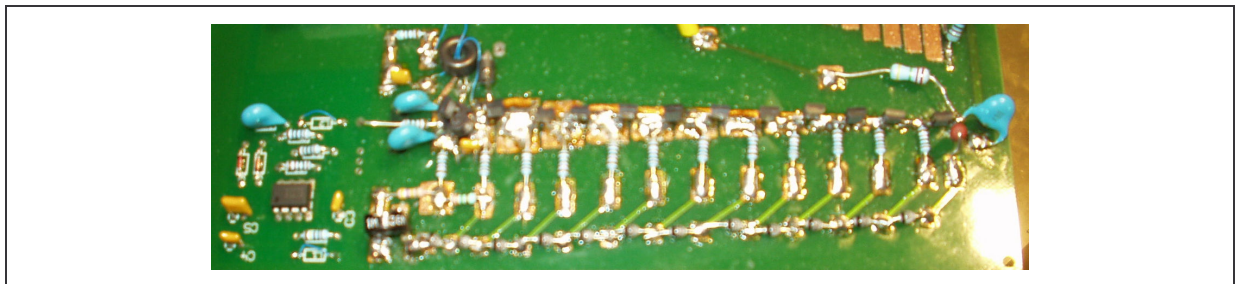


Abbildung 7: 3kV-Trigger-Unit mit COTS-Dioden

Die gemessenen Ausgangspulse in *Abbildung 9* demonstrieren die Leistungsfähigkeit der Pulser. Sie zeigen mit den COTS-Bauteilen eine mindestens ebenbürtige Anstiegszeit von ca. 200ps bei einem Spannungspuls von ca. 6kV.

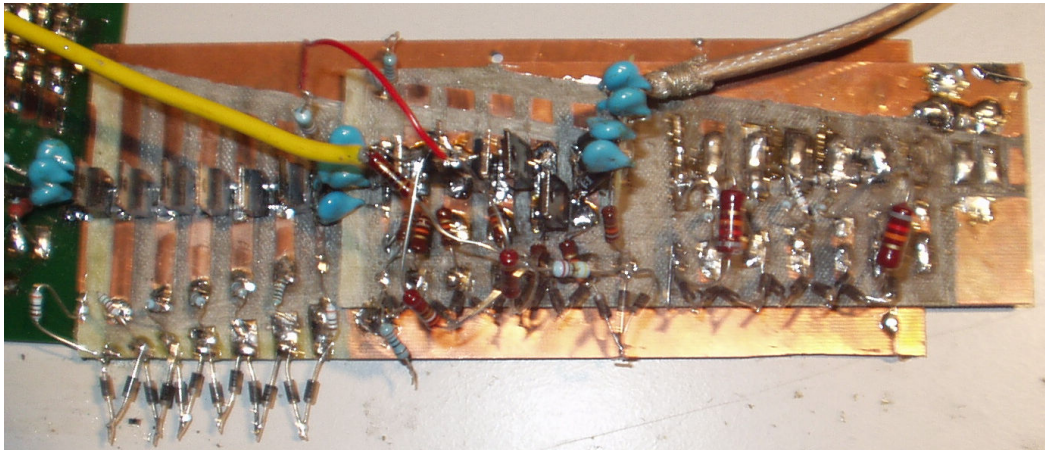
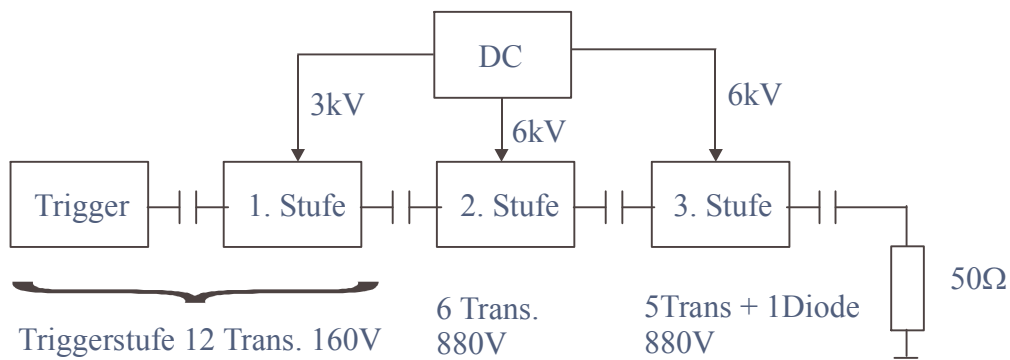
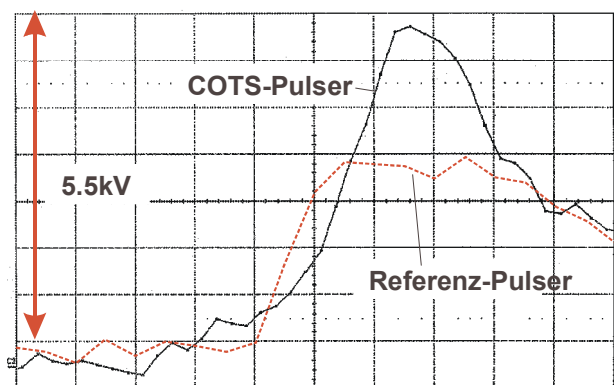
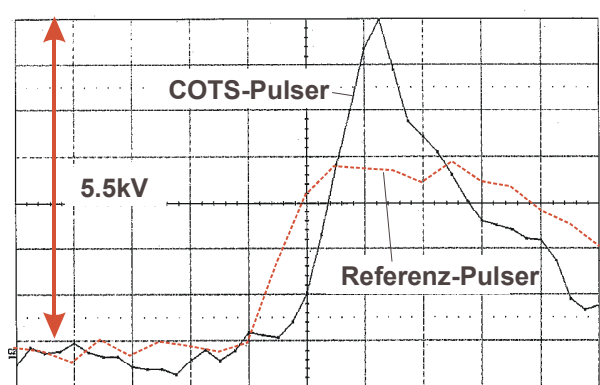


Abbildung 8: zweite und dritte 6kV-Stufen: oben: zweite Stufe mit 6 COTS-Transistoren, dritte Stufe mit 5 COTS-Transistoren und einer Diode. Unten Varianten mit reinen Diodenstufen.



500mV/div bei 64dB Dämpfung
785V/div

200ps/div



500mV/div bei 64dB Dämpfung
785V/div

200ps/div

Abbildung 9: Gemessener UWB-Ausgangspuls der realisierten COTS-Pulser: Links: zweite und dritte Stufe mit Transistoren bestückt, rechts letzte Stufe mit Dioden bestückt. Gestrichelt ist jeweils der Puls des Referenzpulsers abgebildet.

Lebensdauer der Bauteile: Die Auswahl der COTS-Bauteile wird von dem Trial & Error Prinzip dominiert. Während einige Bauteile nur 1-2 Pulse, andere nur 50 Pulse bis zur Zerstörung ertragen, sind bisher einige wenige COTS-Dioden und COTS-Transistoren gefunden worden, die unter den vorliegenden Bedingungen bisher viele 1000 Pulse ohne Beschädigung überstanden haben. Obwohl die resultierende Anstiegszeit vom letzten Bauelement am Pulserausgang dominiert wird, sind die Positionen der beschädigten Halbleiter über die gesamte Kaskade zufällig verteilt. Geht ein Bauteil zu Grunde, so reduziert sich die Ausgangsamplitude um ca. 10% - der Pulser bleibt also auch nach Zerstörung einiger Bauteile zumindest teilweise funktionsfähig.

Erhöhung der Ausgangsspannung: Äquivalent zu den Methoden der englischen und russischen Halbleiter-Pulserhersteller können die einzelnen Module parallelgeschaltet werden. Dabei gilt: Verdopplung der Spannungsamplitude erfordert die Parallelschaltung von 4 Modulen. (z.B. 1 Pulser 3kV mit 50 Transistoren, 1024 Pulser 92kV mit 51200 Transistoren))

Wirksamkeitstest: In der MiniTEM-Zelle der FH-Gelsenkirchen konnten die COTS-UWB-Pulser an herkömmlicher ungeschirmter Elektronik die typischen UWB-Ausfälle wie Latch-up und Reset hervorrufen.

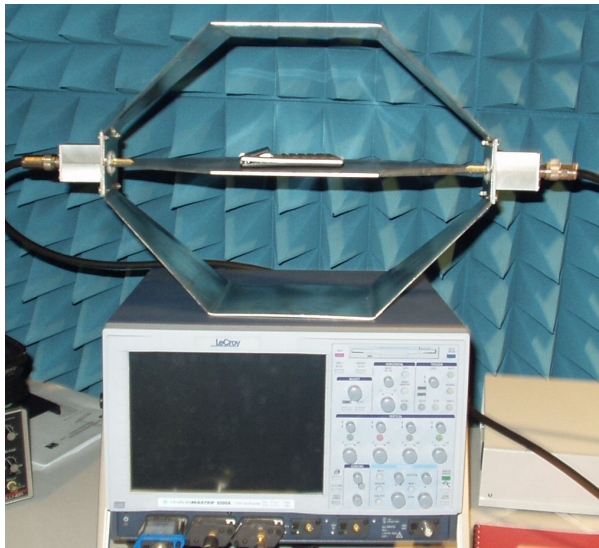


Abbildung 10: DUT in: miniGTEM gespeist vom COTS-Pulser und 5GHz-Oszilloskop zur Erfassung der Transienten

LITERATUR

- [1] T.E. McEwan, R.L.Hanks, "High Voltage picosecond pulse generation using avalanche diodes", Lawrence Livermore National Lab, University of California
- [2] J.Prager,K.K.N Chang, S.Weisbrod,"High power, high efficiency silicon avalanche diodes at ultra high frequencies", Pro IEEE (Lett.), vol.55,pp.586-587, April 1967
- [3] Grekov, Kardo-Sysoev, "Subnanosecond current drop in delayed breakdown of silicon p-n junctions", Sov. Tech. Phys. Lett. 5(8).pp.395-396, August 1979