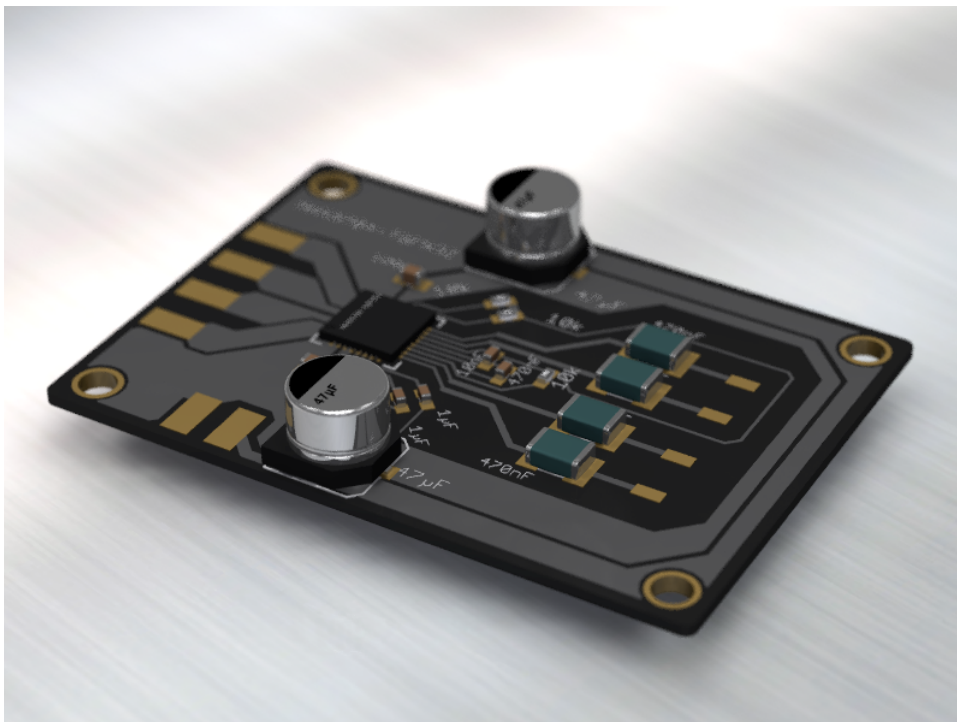


2x10W Class-D Stereo Verstärker

MAX9704

Labor Leiterplattenentwurf – Januar 2011 – B3MST

Christian Weidner



Inhaltsverzeichnis

Grundlegendes.....	3
Projektvorstellung.....	3
Leistungsbeschreibung Maxim MAX9704.....	4
Schaltungsbeschreibung.....	5
Leiterplattendesign.....	6
Land-Pattern-Richtlinien TQFN-32.....	7
Leiterplattenbestückung.....	8
Anmerkung.....	9
BauteilAuswahl.....	9
Fertigungskosten.....	9
Layoutdaten.....	10
Anhang.....	11
MAX9704_v1_Layout.pdf.....	11
MAX9704_v1_Bestueckung.pdf.....	12
MAX9704_v1_Bohrplan.pdf.....	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blockdiagramm einer PWM-Endstufe (Quelle: Fußnote 4).....	3
Abbildung 2: Schaltplan MAX9704.....	5
Abbildung 3: Leiterplatte MAX9704.....	6
Abbildung 4: Package Land Pattern (Quelle: Maxim).....	6
Abbildung 5: Land-Pattern-Richtlinien TQFN Zeichnung (Quelle: Maxim).....	7
Abbildung 6: Land-Pattern-Richtlinien TQFN Maße (Quelle: Maxim).....	7
Abbildung 7: Leiterplatte bestückt (Bild: Christian Weidner).....	8
Abbildung 8: Leiterplatte bestückt – Alternativ Lötstop Grün, SN-Pb (Bild: Christian Weidner).....	8
Abbildung 9: Top-Layer.....	10
Abbildung 10: Bestückung.....	10
Abbildung 11: Bohrungen.....	10

Quellennachweis

<http://www.cadsoft.de/>
<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/4230>
<http://www.maxim-ic.com>
http://en.wikipedia.org/wiki/Class_D_Amplifier
http://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker_%28Elektrotechnik%29
<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/4230>
http://pdfserv.maxim-ic.com/package_dwgs/21-0144.PDF
<http://www.matwei.de/doku.php?id=de:eagle3d:eagle3d>
http://de.wikipedia.org/wiki/Radiosity_%28Computergrafik%29
<http://de.wikipedia.org/wiki/HDRI>
<http://www.mikrocontroller.net/topic/114555>
http://www.bilex-lp.com/user_d/

Grundlegendes

Im vorliegenden Laborbeleg geht es um den Entwurf einer Schaltung inkl. Leiterplatte (PCB) unter Verwendung der Software Eagle¹ aus dem Hause CADSoft Computer GmbH. Hierbei steht das Erlernen der Software sowie das Kennenlernen grundlegender Schaltungsgestaltung im Vordergrund. Ein weiterer Leistungsbestandteil ist die Bauteil- sowie Anbieterrecherche.

Die Gestaltungsvorgaben der Leiterplatte ergeben sich den Randbedingungen der Schaltung sowie den Fertigungsrandbedingungen der hochschulinternen Galvanikabteilung.

Projektvorstellung

Das gewählte Projekt trägt den Titel „2x10W Stereo Class-D Verstärker“ auf Grundlage des integrierten Schaltkreises MAX9704² von Maxim-IC³. Im Allgemeinen sind Class-D Verstärker⁴ (Digitalverstärker bzw. schaltende Verstärker) elektrische Verstärker, welche als Leistungsendstufe oder Endstufe Verwendung finden. Kennzeichnend ist, dass das Audiosignal in eine Form von Pulsen gebracht wird. (z.B. Pulsweitenmodulation) Dies ermöglicht die Verwendung im Schaltbetrieb, die Schaltelemente (Transistoren, FETs) sind somit entweder maximal leitend oder maximal isolierend. Im Vergleich zu konventionellen Verstärkern (Class A,B, AB⁵) sind dies die beiden Zustände geringster Verlustleistung. (Konventionelle Verstärker nutzen die linearen Zwischenzustände)

Durch ein Rekonstruktionsfilter hinter der Leistungsstufe wird ein dem Eingangssignal entsprechender kontinuierlicher Spannungsverlauf erzeugt. Der grundlegende Aufbau ist folgender Abbildung zu entnehmen:

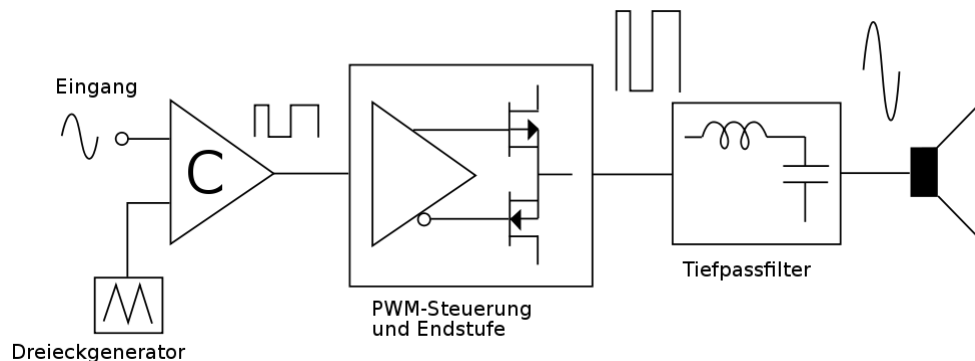


Abbildung 1: Blockdiagramm einer PWM-Endstufe (Quelle: Fußnote 4)

¹ <http://www.cadsoft.de/>

² <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/4230>

³ <http://www.maxim-ic.com>

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Class_D_Amplifier

⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker_%28Elektrotechnik%29

Der MAX9704 bietet im Vergleich dazu einen entscheidenden Vorteil, er verzichtet auf das Rekonstruktionsfilter.

Leistungsbeschreibung Maxim MAX9704

- Verbindet Class-AB Performance mit Class-D Effizienz
- Wählbare Frequenzmodulation (FFM, SSM)
 - FFM → Festfrequenzmodulation (fixed frequency mode)
 - SSM → Frequenzspreizmodulation für reduzierte EMV-Abstrahlung (spread-spectrum mode)
- 78% Effizienz bei $R_L=8\Omega$, 88% Effizienz bei $R_L=16\Omega$
- 0.07% THD+N
- PSRR 80dB bei 1kHz
- Signal-Rausch-Abstand > 95dB
- Symmetrische Eingänge
- einstellbare Verstärkung
- Thermisch günstiges TQFN-32 Gehäuse
- 10V-25V Betriebsspannung
- Kurzschluss- und Überhitzungsfest

Weitere technische Parameter finden sich im Datenblatt⁶.

Für dieses Projekt wurden folgende Betriebsparameter festgelegt:

- Betriebsspannung von +12V DC (max.16V)
- Verstärkung (Gain) 29.6dB
- Softstart
- Spread-Spectrum-Modulation (SSM) 670kHz \pm 7%
- Symmetrische Eingangskonfiguration

Für die Leiterplatte gelten folgende Rahmenbedingungen:

- 60x40mm konturgefräst, FR4 1.0mm, einseitig Kupferauflage 70 μ m
- Lötstop doppelseitig schwarz, Oberfläche chem. Gold (ROHS konform), Positionsdruck TOP
- Wärmeabfuhr über Massefläche und Konvektion

⁶ <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/4230>

Schaltungsbeschreibung

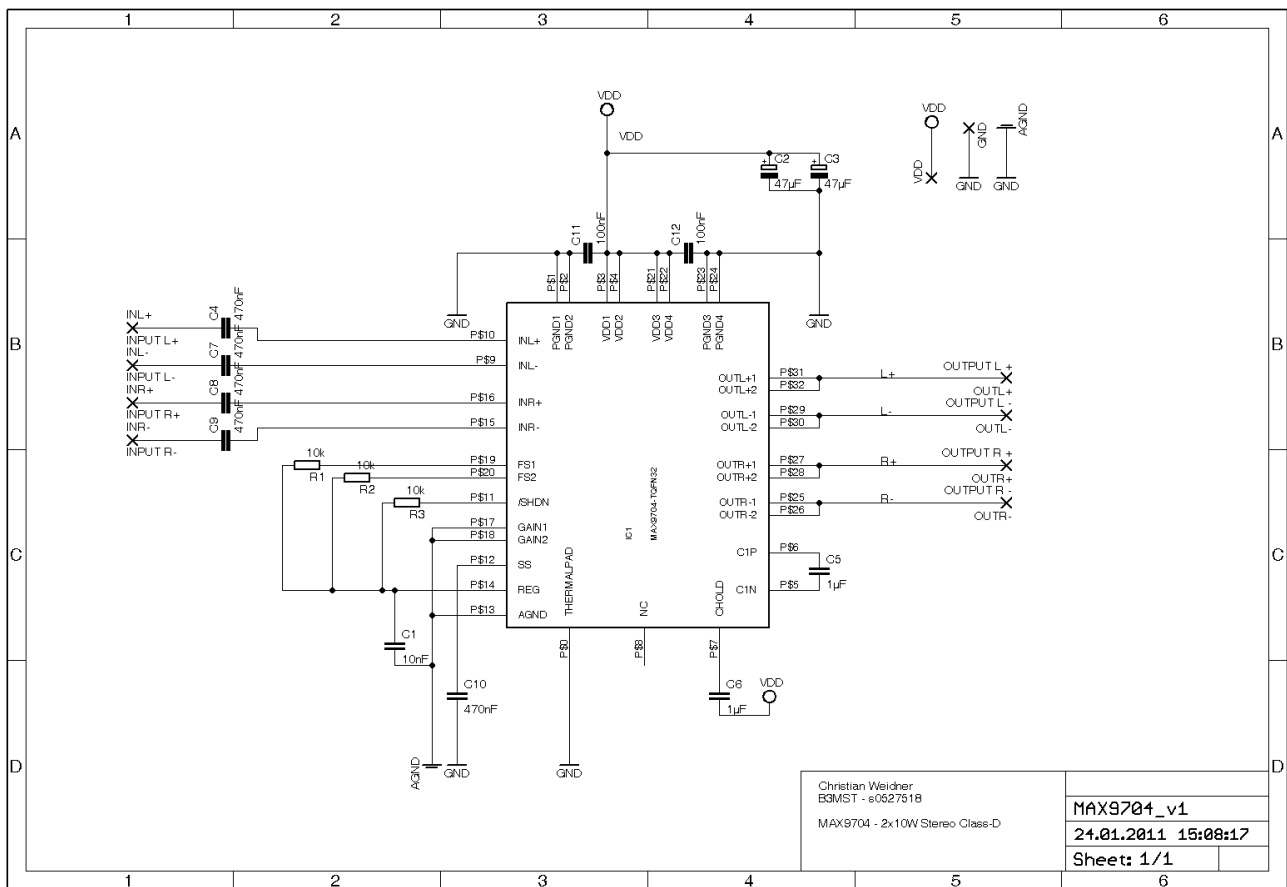


Abbildung 2: Schaltplan MAX9704

Grundlage der Schaltungsbeschreibung bildet Abbildung 2. Die Betriebsspannung im Bereich 12-16V liegt an VDD1, VDD2, VDD3, VDD4 an. Zur Spannungsstabilisierung sind nach Application-Note 100µF + 2x100nF vorgesehen. Bezogen auf das Leiterplattendesign wurden hier zwei Paare zu 47µF + 100nF gewählt. (C3 + C11; C2 + C12) Die Wahl des Verstärkungsfaktors mit 29.6dB erfolgt über GAIN1 und GAIN2, welche hier AGND liegen. (Zur Einhaltung der Betriebsparameter wird zwischen Analog-Masse [AGND] und Power-Masse [PGND] unterschieden; Eine Verbindung findet nur an einem Punkt statt) Die Soft-Start-Funktion wird über C10 mit 470nF an SS realisiert. Am REG-Pin steht eine stabilisierte Gleichspannung (zusätzl. C1) von 6V zur Verfügung. Für den Betrieb im Spread-Spectrum-Mode sind FS1 und FS2 auf HIGH-Level zu setzen, dies erfolgt durch R1, R2. Der Shutdown-Mode, als Activ-Low ausgeführt, findet keine Verwendung, /SHDN liegt somit über R3 ebenfalls auf HIGH-Level. C5 und C6 sind externer Bestandteil der integrierten Ladungspumpe. Die Eingangssignale des linken und rechten Kanals werden symmetrisch entkoppelt (470nF FKP; C4, C7, C8, C9) zugeführt. Am Ausgang erfolgt eine Parallelschaltung von jeweils 2 Pins.

Die Wärmeabfuhr erfolgt über das Thermalpad, PGND, VDD1-4, OUTL±, OUTR±. Zusätzlich kann die Platine auf einen Kühlkörper geschraubt werden, die Wärmebrücke bilden dann die Befestigungsschrauben. (Kupferschrauben)

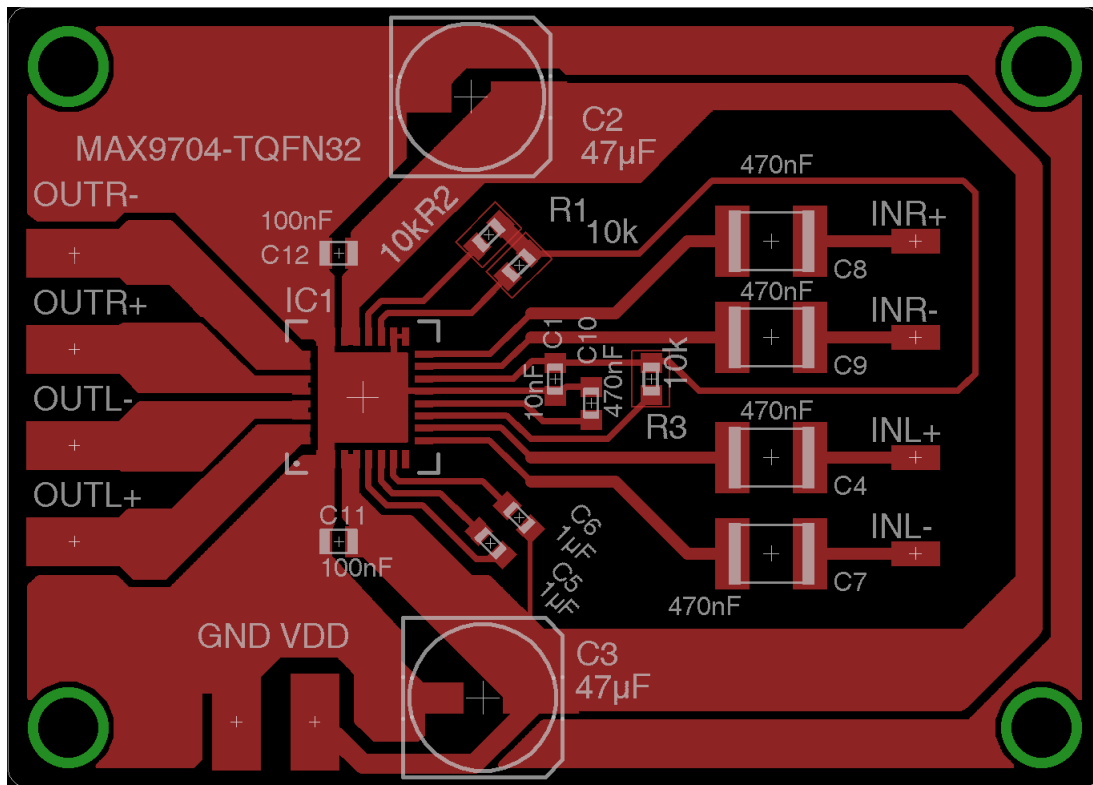


Abbildung 3: Leiterplatte MAX9704

Bei der Gestaltung der Leiterplatte wurde auf symmetrische Auslegung Wert gelegt. Nur so kann gewährleistet werden, dass beide Kanäle nahezu gleiche Betriebsparameter aufweisen. Die großzügig ausgelegte Massefläche dient primär der Wärmeabfuhr. Eine Masseschleife wurde bewusst vermieden (siehe C3). Die Eingangsspannungsfiltrierung wurde im Design aufgeteilt um möglichst nah am IC zu sein. Die Ausgänge befinden sich in der Darstellung links, die Eingänge rechts. Die Verbindung zwischen AGND und PGND wurde am Thermalpad rechts ausgeführt.

Für das TQFN-32-Gehäuse sowie die FKP-SMD-Kondensatoren war es notwendig jeweils ein neues Bauteil in Eagle zu erzeugen. Ersteres wurde auf Grundlage der Land-Pattern-Richtlinien⁷ von Maxim-IC erstellt.

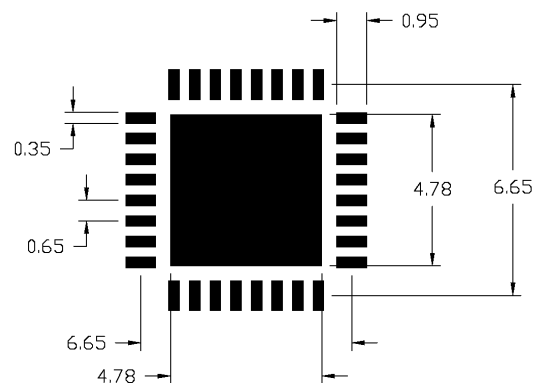


Abbildung 4: Package Land Pattern (Quelle: Maxim)

⁷ http://pdfserv.maxim-ic.com/package_dwgs/21-0144.PDF

Land-Pattern-Richtlinien TQFN-32

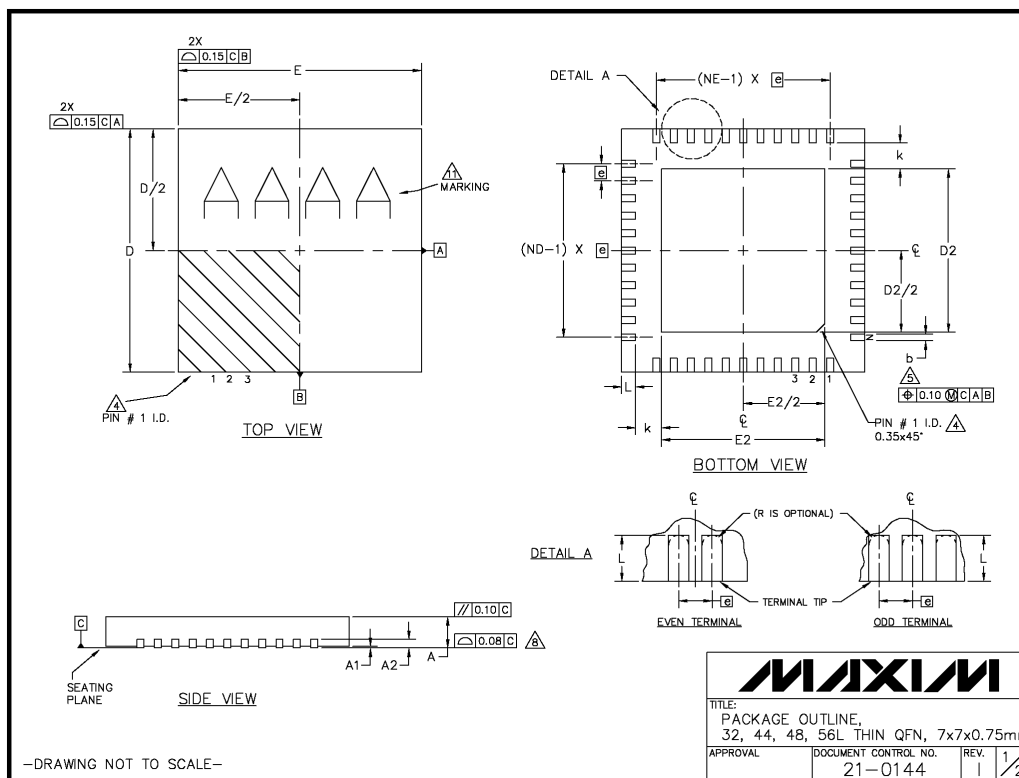


Abbildung 5: Land-Pattern-Richtlinien TQFN Zeichnung (Quelle: Maxim)


COMMON DIMENSIONS																
PKG	32L 7x7			44L 7x7			48L 7x7			CUSTOM PKG. (T4877-1)			56L 7x7			
	MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.	
SYMBOL	A	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80	0.70	0.75	0.80
A1	0	0.02	0.05	0	0.02	0.05	0	0.02	0.05	0	0.02	0.05	0	—	0.05	
A2	0.20 REF.			0.20 REF.			0.20 REF.			0.20 REF.			0.20 REF.			
B	0.25	0.30	0.35	0.20	0.25	0.30	0.20	0.25	0.30	0.20	0.25	0.30	0.15	0.20	0.25	
D	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	
E	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	6.90	7.00	7.10	
e	0.65 BSC.			0.50 BSC.			0.50 BSC.			0.50 BSC.			0.40 BSC.			
k	0.25	—	—	0.25	—	—	0.25	—	—	0.25	—	—	0.25	—	—	
L	0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65	0.30	0.40	0.50	0.45	0.55	0.65	0.30	0.40	0.50	
N	32	44			48			44			56					
ND	8	11			12			10			14					
NE	8	11			12			12			14					

EXPPOSED PAD VARIATIONS										
PKG. CODES	DEPOPULATED LEADS	D2			E2			JEDEC M0220 REV. C		
		MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.			
T3277-2	—	4.55	4.70	4.85	4.55	4.70	4.85	—		
T3277-3	—	4.55	4.70	4.85	4.55	4.70	4.85	—		
T4477-2	—	4.55	4.70	4.85	4.55	4.70	4.85	WKKD-1		
T4477-3	—	4.55	4.70	4.85	4.55	4.70	4.85	WKKD-1		
T4877-3	—	4.95	5.10	5.25	4.95	5.10	5.25	—		
T4877-4	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T4877-6	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T4877-7	—	4.95	5.10	5.25	4.95	5.10	5.25	—		
T4877M-1	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T4877M-6	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T4877M-8	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T5677-1	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T5677M-1	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		
T5677-2	—	5.40	5.50	5.60	5.40	5.50	5.60	—		

NOTES:

- 1. DIMENSIONING & TOLERANCING CONFORM TO ASME Y14.5M-1994.
- 2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS. ANGLES ARE IN DEGREES.
- 3. N IS THE TOTAL NUMBER OF TERMINALS.
- △ THE TERMINAL #1 IDENTIFIER AND TERMINAL NUMBERING CONVENTION SHALL CONFORM TO JEDEC 95-1 SPP-012. DETAILS OF TERMINAL #1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE TERMINAL #1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE.
- △ DIMENSION b APPLIES TO METALLIZED TERMINAL AND IS MEASURED BETWEEN 0.25 mm AND 0.30 mm FROM TERMINAL TIP.
- 6. ND AND NE REFER TO THE NUMBER OF TERMINALS ON EACH D AND E SIDE RESPECTIVELY.
- 7. DEPOPULATION IS POSSIBLE IN A SYMMETRICAL FASHION.
- △ COPLANARITY APPLIES TO THE EXPOSED HEAT SINK SLUG AS WELL AS THE TERMINALS.
- 9. DRAWING CONFORMS TO JEDEC M0220 EXCEPT THE EXPOSED PAD DIMENSIONS OF T4877-3/-4/-6 & T5677-1.
- 10. WARPAGE SHALL NOT EXCEED 0.10 mm.
- △ MARKING IS FOR PACKAGE ORIENTATION REFERENCE ONLY.
- 12. NUMBER OF LEADS SHOWN ARE FOR REFERENCE ONLY.
- 13. ALL DIMENSIONS APPLY TO BOTH LEADED (-) AND PbFREE (+) PKG. CODES.

-DRAWING NOT TO SCALE-



TITLE:
PACKAGE OUTLINE,
32, 44, 48, 56L THIN QFN, 7x7x0.75mm

APPROVAL	DOCUMENT CONTROL NO.	REV.
	21-0144	1

2/

Abbildung 6: Land-Pattern-Richtlinien TQFN Maße (Quelle: Maxim)

Leiterplattenbestückung

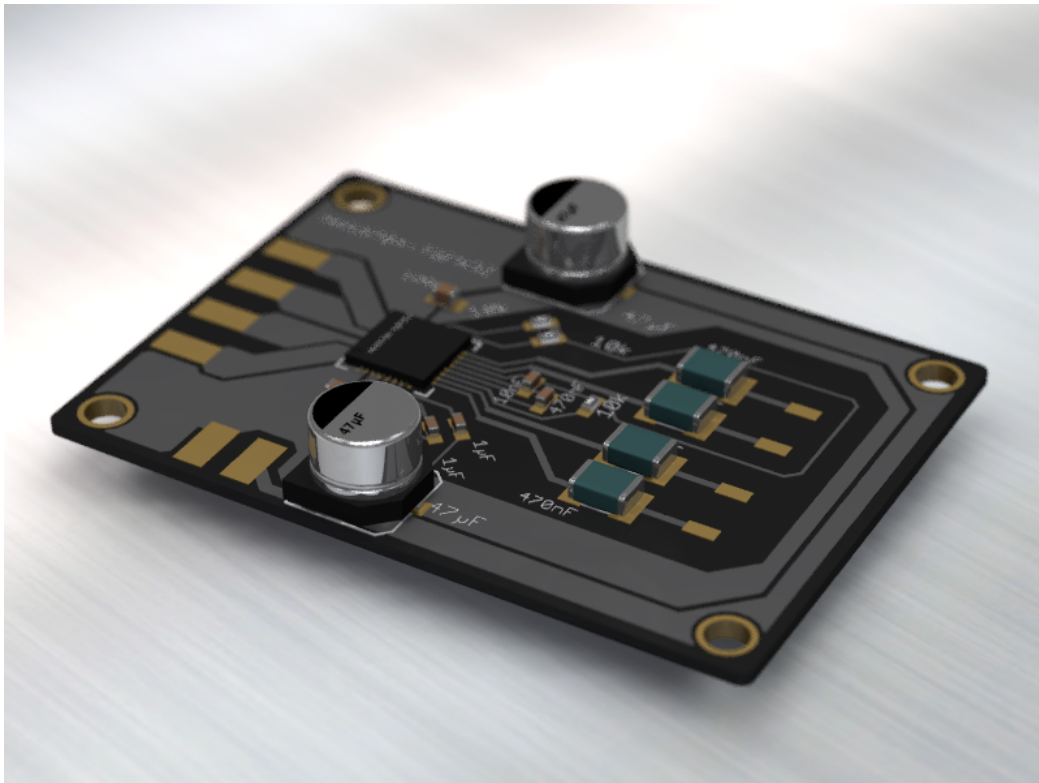


Abbildung 7: Leiterplatte bestückt (Bild: Christian Weidner)

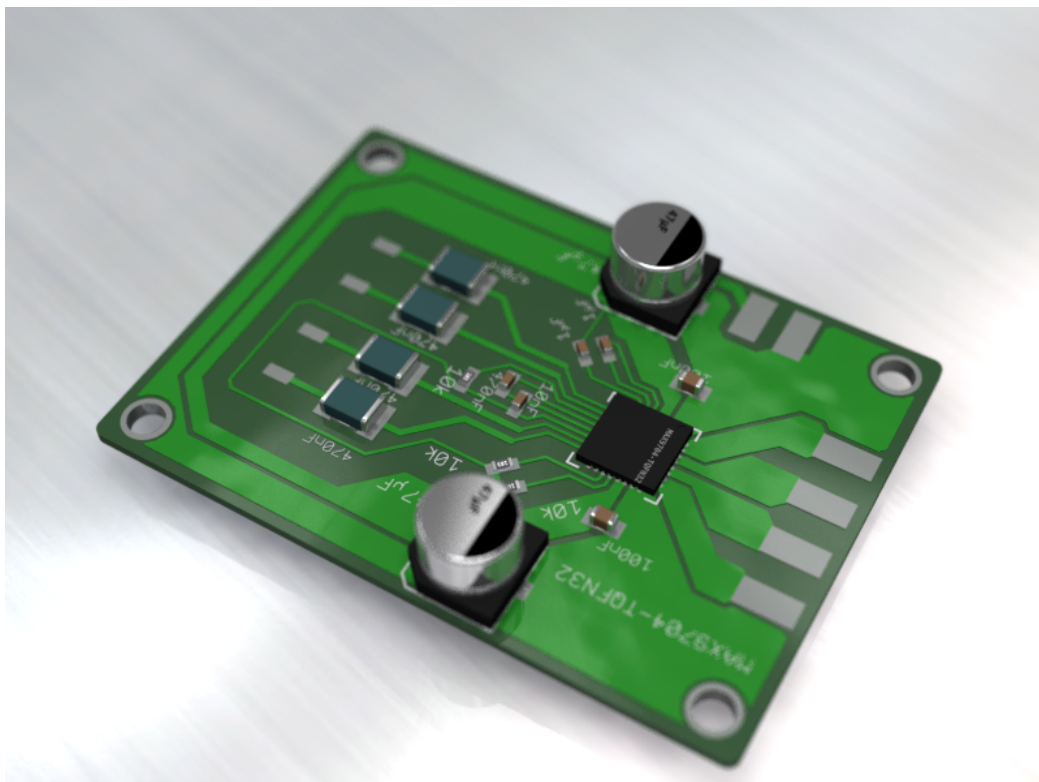


Abbildung 8: Leiterplatte bestückt – Alternativ Lötstop Grün, SN-Pb (Bild: Christian Weidner)

Anmerkung

Die in Abbildung 7 und 8 gezeigten Simulationen des Designs (Rendering) wurden unter Verwendung der Eagle-Erweiterung Eagle3D⁸ angefertigt. Diese Erweiterung ermöglicht eine 3D-Simulation auf Grundlage vorhandener Bauteilbibliotheken mit Hilfe der Render-Software Pov-Ray. Nach einigen, nicht meiner Erwartung entsprechenden, Renderings wurde die Möglichkeit der Verwendung von Radiosity⁹ und HDRI¹⁰ zur Szenenbeleuchtung untersucht. In Zusammenarbeit mit Gleichgesinnten und dem Entwickler von Eagle3D haben wir diese Möglichkeit erörtert, weiterentwickelt und sind derzeit dabei, die Erkenntnisse und Rahmenbedingungen in Eagle3D einzupflegen¹¹.

BauteilAuswahl

Menge	Bauteile	Wert	Typ
3	R1, R2, R3	10k/50V	R0603
1	C1	10nF/16V	C0603 X7R
2	C11, C12	100nF/25V	C0805 X7R
1	C10	470nF/16V	C0603 X7R
4	C4, C7, C8, C9	470nF/63V	C1812 FKP
2	C5, C6	1µF/16V	C0603 X7R
2	C2, C3	47µF/20V	Electrolytic Aluminium Low-ESR
1	IC1	MAX9704	MAX9704ETJ+ TQFN32

Tabelle 1: BauteilAuswahl

Bauteile	Hersteller	Herstellercode	Anbieter	Bestell-Nr.	Preis/Stück	Preis/Posten	Mindestmenge
R1, R2, R3	Multicomp	MCHP03W8F1002T5E	Farnell	1576297	0,08 €	3,80 €	*
C1	Multicomp	MCCA000147	Farnell	1759003	0,01 €	0,80 €	*
C11, C12	Multicomp	MCCA000295	Farnell	1759166	0,01 €	1,10 €	*
C10	Kemet	C0603X474K4RACTU	Farnell	1414037	0,15 €	1,51 €	*
C4, C7, C8, C9	Wima	SMD 1812 10% 63 V 0,47 UF	Reichelt	SMD-1812 470N	0,53 €	2,12 €	
C5, C6	Yageo	CC0603KRX7R7BB105	Farnell	1458900	0,11 €	1,10 €	*
C2, C3	Sanyo	20SVP47M	Farnell	9189130	3,57 €	7,14 €	
IC1	Maxim	MAX9704ETJ+	Mouser	700-MAX9704ETJ	4,55 €	4,55 €	
Kosten					9,01 €	22,12 €	

Tabelle 2: Hersteller- und Anbieterauswahl

Fertigungskosten¹²

Service in 10 Arbeitstagen (Bummel)

Bezeichnung: MAX9704; 1-Lagig; 120x80mm; Chemisch Gold (ROHS konform);
FR4 1.0mm; 70 µm Auflage; doppelseitig schwarz; Positionsdruck: Ja

Preis bei 1 Stückzahl	Einzelpreis	Gesamtpreis
Leiterplatten	10.35 €	10.35 €
Folie	-	5.76 €
Netto		16.11 €
MwSt.		3.22 €
Brutto		19.33 €

Tabelle 3: Preisbeispiel (Bilex-LP Bulgarien) 120x80mm Mindestnutzengröße

8 <http://www.matwei.de/doku.php?id=de:eagle3d:eagle3d>

9 http://de.wikipedia.org/wiki/Radiosity_%28Computergrafik%29

10 <http://de.wikipedia.org/wiki/HDRI>

11 <http://www.mikrocontroller.net/topic/114555>

12 http://www.bilex-lp.com/user_d/

Layoutdaten

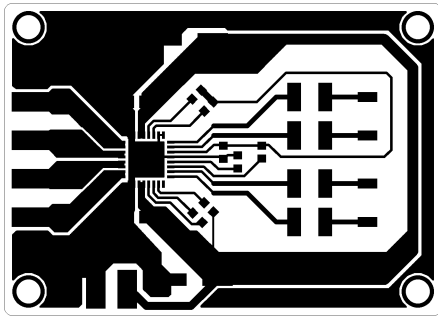


Abbildung 9: Top-Layer

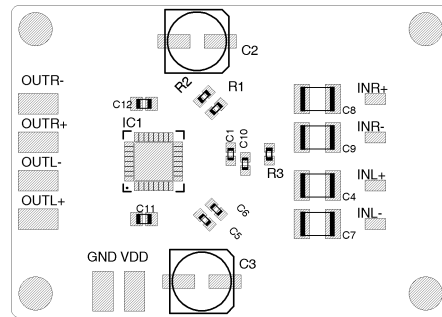


Abbildung 10: Bestückung

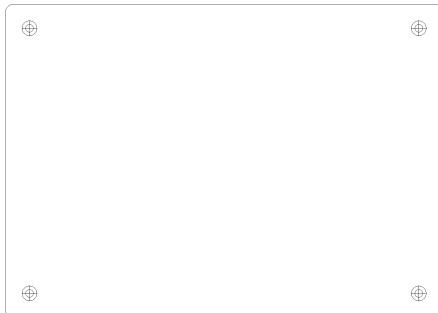


Abbildung 11: Bohrungen

```

.%
M48
M72
T01C0.1260
.%
T01
X1351Y1351
X1351Y15101
X21601Y15101
X21601Y1351
M30
Text 2: MAX9704_v1.drd

T01 0.126in
Text 3: MAX9704_v1.drd

```

```

Generated by EAGLE CAM Processor 5.10.0
Drill Station Info File: MAX9704_v1.dri
Date      : 28.01.2011 03:21:49
Drills    : generated
Device    : Excellon drill station
Parameter settings:
Tolerance Drill + : 2.50 %
Tolerance Drill - : 2.50 %
Rotate       : no
Mirror       : no
Optimize     : yes
Auto fit     : yes
OffsetX      : 0inch
OffsetY      : 0inch
Layers       : Drills Holes
Drill File Info:
Data Mode    : Absolute
Units        : 1/10000 Inch
Drills used:
Code  Size  used
T01  0.1260inch  4
Total number of drills: 4
Plotfiles:
MAX9704_v1.drd
Text 1: MAX9704_v1.drd

```

