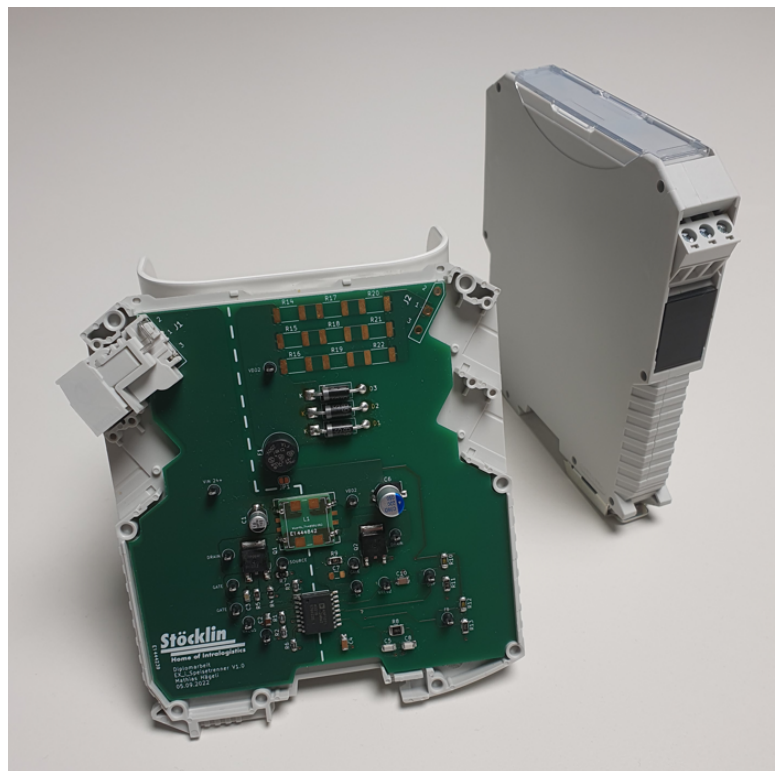


# Ex "i" Speisetrenner

Diplomarbeit 2022 Elektrotechniker

Laufen, 26. September 2022



<b>Auftraggeber</b>	Ruedi Wenk, Leiter Technik Unit F
<b>ATEX/IECEX Beauftragter</b>	Jörg Backhaus
<b>Diplomlehrer</b>	Silvan Wirth
<b>Prüfungsexperte</b>	Jörg Schenker
<b>Studierender</b>	Mathias Hägeli

# 1 Abstract

Die Aufgabe sieht vor, dass ein externes Wiegesystem über die Fahrzeugbatterie des Flurförderzeugs betrieben werden kann. Dies wird mittels eines Speisetrenner gewährleistet. Dadurch kann auf die zusätzliche Batterie verzichtet werden, welches in einer Reduktion des Unterhalts wie auch Anschaffungskosten resultiert. Zudem ermöglicht ein Wegfallen der Batterie, eine freie und verbesserte Sicht auf Gabel und Last.

Der Speisetrenner umfasst eine galvanisch getrennte Spannungswandlung mittels einer Fly Back Converter Schaltung, welche die Batteriespannung von 18 bis 32V auf 9V reduziert. Die Ausgangsspannung von 9V wird über eine lineare Kennlinie durch die Zündschutzart Eigensicherheit "i" am Ausgang ausgegeben.

Um diesen Speisetrenner zu realisieren, wurde eine Recherche, Schaltungsaufbau, Simulation und Leiterplattendesign durchgeführt.

In der Recherche wurden die notwendigen Informationen über den Explosionsschutz und der Zündschutzart Eigensicherheit "i", sowie die Anforderungen aus den Normen recherchiert.

Der Schaltungsaufbau umfasst die Vorgehensweise einer galvanischen getrennten Spannungswandlung und der Gewährleistung der eigensicheren Ausgangsspannung mittels linearen Kennlinie. Bauteile im Eigensicheren Stromkreis wurden nach der 2/3 Auslastung berechnet.

Die ermittelten Werte der Schaltung und benötigten Bauteile wurden im Simulationsprogramm LtSpice erfolgreich simuliert.

Die Leiterplatte und das zugehörige Schema wurden in KiCAD gezeichnet und entwickelt. Beim Leiterplattendesign wurden die geforderten Trennabstände, Luft- und Kriechstrecken, welche von der Norm gefordert werden, berücksichtigt. Für Bauteile, welche die Kriechstrecken nicht einhalten, wurde die entsprechende Schutzschicht und Vergussmasse vorgestellt.

Aufgrund von Lieferverzögerungen konnten die Inbetriebnahme und Validation nicht durchgeführt werden. Jedoch wurde das Inbetriebnahmeprotokoll erstellt, sodass bei Erhalt der Bauteile die Funktionsfähigkeit des Speisetrenners überprüft werden kann.

Anhand der Simulationenwerte kann von einem funktionsfähigen Speisetrenner ausgegangen werden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>2 Qualifikationsprofil und Lebenslauf</b>	<b>2</b>
<b>3 Einleitung</b>	<b>4</b>
3.1 Ziele und Nutzen . . . . .	4
3.2 Anforderungen aus dem Plichtenheft . . . . .	5
3.2.1 Aufbau . . . . .	5
3.2.2 Normen . . . . .	5
3.2.3 Systemvoraussetzung . . . . .	5
3.2.4 Ziele . . . . .	6
<b>4 Recherche</b>	<b>7</b>
4.1 Explosionsschutz . . . . .	7
4.1.1 Zündschutzarten . . . . .	8
4.1.2 Zoneneinteilung bei Gas und Staub . . . . .	8
4.1.3 Kennzeichnung . . . . .	9
4.1.4 EXI 16 Kennzeichnung . . . . .	9
4.1.5 Zoneneinteilung in Kategorien . . . . .	11
4.2 Eigensicherheit "i" . . . . .	12
4.2.1 Eigenschaften der Zündschutzart Eigensicherheit Ex "i" . . . . .	12
4.2.2 Betriebsmittelarten . . . . .	12
4.2.3 Schutzniveau . . . . .	12
4.3 Begriffserklärung . . . . .	13
4.3.1 Elektrische Parameter . . . . .	13
4.3.2 Fehlerarten . . . . .	15
4.3.3 Vermeidung thermischer Zündung . . . . .	15
4.3.4 Trennabstände und Kriechstrecken . . . . .	15
4.3.5 2/3 Auslastung . . . . .	18
4.3.6 Kennlinien . . . . .	18
4.3.7 Vergussmasse und Schutzschicht . . . . .	20

4.4	DC/DC Wandlung . . . . .	22
4.4.1	Der Abwärtswandler . . . . .	22
4.4.2	Sperrwandler . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Hardware und Simulation</b>	<b>25</b>
5.1	Aufbau und Funktion . . . . .	25
5.2	Simulation in Lt Spice . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Schema und Layout Ex "i" Speisetrenner</b>	<b>32</b>
6.1	Schema . . . . .	32
6.1.1	Kennlinie und Bergrenzungsschaltung . . . . .	32
6.2	Layout . . . . .	35
6.2.1	Gesamtübersicht und Lagenaufbau . . . . .	35
6.2.2	Nicht Eigensicherer Stromkreis . . . . .	36
6.3	Galvanische Trennung . . . . .	36
6.4	Eigensicherer Stromkreis . . . . .	37
6.4.1	Ausgang ADP1071-2 . . . . .	37
6.4.2	Allgemeine Einhaltung der Kriechstrecken . . . . .	37
6.4.3	Eigensichere Ausgangsschaltung . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Gehäuse</b>	<b>39</b>
7.1	Auflistung Gehäuse und Zubehör . . . . .	40
<b>8</b>	<b>Anpassungen</b>	<b>41</b>
8.1	Transformers Aufsatzplatine . . . . .	41
<b>9</b>	<b>Auflöten und Inbetriebnahme</b>	<b>42</b>
9.1	Erläuterung Inbetriebnahmeprotokoll . . . . .	42
9.2	notwendige Bauteile . . . . .	42
<b>10</b>	<b>Zeitplan</b>	<b>46</b>
<b>11</b>	<b>Schlussbemerkung</b>	<b>47</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>48</b>
	<b>Ehrlichkeitserklärung</b>	<b>49</b>

<b>A Anhang</b>	<b>50</b>
A.1 ADP1071-2 . . . . .	51
A.2 Transformator . . . . .	78
A.3 Sicherung . . . . .	82
A.4 Z-Diode . . . . .	85
A.5 Strombegrenzender Widerstand . . . . .	92

## Abbildungsverzeichnis

3.1	EXI 16 mit Wiegesystem . . . . .	4
4.1	Zoneneinteilung . . . . .	8
4.2	Kennzeichnung . . . . .	9
4.3	EXI Kennzeichnung . . . . .	10
4.4	Betrachtung einer Ex-i-Zusammenschaltung . . . . .	13
4.5	Tabelle 5 . . . . .	16
4.6	Beispiel für die Trennung von leitfähigen Teilen . . . . .	17
4.7	Lineare Kennlinie . . . . .	18
4.8	Trapezförmige Kennlinie . . . . .	19
4.9	Rechteckförmige kennlinie . . . . .	19
4.10	Vergussmasse . . . . .	20
4.11	Schutzschicht . . . . .	21
4.12	Abwärtswandler . . . . .	22
4.13	Simulation Abwärtswandler . . . . .	23
4.14	Simulation Abwärtswandler . . . . .	24
5.1	Flyback ADP1071-2 . . . . .	27
5.2	Flyback ADP1071-2 . . . . .	28
5.3	Spannungsanstiegsrampe . . . . .	29
5.4	OPV Abschaltung . . . . .	29
5.5	$V_{OUT}$ Ripple . . . . .	30
5.6	Simulation ADP1071-2 . . . . .	31
6.1	KiCAD Schema . . . . .	34
6.2	Aufbau und Lagen . . . . .	35
6.3	Nicht eigensicher Stromkreis . . . . .	36
6.4	Galvanische Trennung . . . . .	36
6.5	ADP1071-2 Ausgangsseite . . . . .	37
6.6	Kriechstrecken Prüfung . . . . .	38
6.7	Eigensichere Ausgangschaltung . . . . .	38
7.1	Ex "i" Speisetrenner 3D . . . . .	39
7.2	Leiterplattenklemme - MKDSO 2,5/ 3 . . . . .	39
7.3	Gehäuse mit Leiterplatte . . . . .	39
8.1	Aufsatzleiterplatte . . . . .	41
9.1	Inbetriebnahmeprotokoll . . . . .	43

9.2	Sonderbedarf Bauteile . . . . .	44
9.3	Sonderbedarf Stecker . . . . .	44
9.4	Transformator . . . . .	45
9.5	Strom begrenzende Widerstände . . . . .	45
9.6	Leiterplatten Stecker rechts . . . . .	45

## **Tabellenverzeichnis**

3.1	Ziele . . . . .	6
4.1	Zonenübersicht . . . . .	11
6.1	Eckdaten . . . . .	32

## 2 Qualifikationsprofil und Lebenslauf

Hägeli Mathias  
Dipl. Elektrotechniker HF  
Lagehausweg 2  
4116 Metzerlen

### Qualifikationsprofil

Elektrotechniker HF

**Entscheidungen fällen**  
Prozess 2

Ersatzbauteil für Transformator gefunden, passende Aufsatzplatine entwickelt. Fachliteratur als zusätzliche Information zur Norm genutzt und eingesetzt.

**Projekte planen und leiten**  
Prozess 3

Projekte von der Projektinitialisierung bis zum Projektabschluss erfolgreich geplant, durchgeführt und mit allen Involvierten transparent kommuniziert.

**Sich sprachlich verständigen**  
Prozess 4

Die Dokumentation wurde verständlich und nachvollziehbar geschrieben und bietet einen Einblick in den allgemeinen Explosionsschutz.

**Umfeld berücksichtigen**  
Prozess 8

Bei der Entwicklung wurde die Normen EN 60079-11 Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit "i" und EN 60079-0 Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 0: Betriebsmittel - Allgemeine Anforderungen gelesen und berücksichtigt.

**Produkte entwickeln**  
Prozess 11

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein Ex "i" Speisetrenner entwickelt welcher das betrieblen des Wiegesystems über die Fahrzeugbatterie des EXI 16 ermöglicht. (Flurförderzeug der Explosionsschutzzone 1)

**Anlagen projektieren**  
Prozess 13

Für den Ex "i" Speisetrenner wurden die Bauteile nach den Anforderungen der Norm EN 60079-11 der 2/3 Auslastung berechnet und entsprechen eingesetzt.

**In Betrieb setzen**  
Prozess 14

Die Leiterplatte soll anhand definierter Sollwerte und im Vergleich zur bestehenden Ausgangswerte der EX "i" Batterie getestet und in Betrieb genommen.

# Lebenslauf

Adresse | 4116 Metzerlen

Kontakt | mathias.haegeli@gmail.com  
+41 79 882 84 55



## PERSÖNLICHES

Name Hägeli  
Vorname Mathias  
Geburtsdatum 25.04.1997  
Heimatort Hofstetten SO  
Zivilstand Ledig  
Nationalität Schweizer

## INTERESSEN

Fussball, Camping, Familie, Kinder

## SPRACHEN

Deutsch, Muttersprache  
Englisch, Grundkenntnisse  
Französisch, Grundkenntnisse

## PROGRAMM KENNTNISSE

Autodesk AutoCAD Electrical  
Autodesk Inventor  
KiCAD PCB & Schema Design  
LT Spice Simulation  
MS Office

## REFERENZEN

Herr Backhaus Jörg  
Stöcklin Logistik AG  
4242 Laufen  
+41 61 705 83 45  
[joerg.backhaus@stoecklin.com](mailto:joerg.backhaus@stoecklin.com)

Herr Florian Heimann  
Stöcklin Logistik AG  
4242 Laufen  
+41 61 705 84 97  
[florian.heimann@stoecklin.com](mailto:florian.heimann@stoecklin.com)

## BERUFSERFAHRUNG

- Elektrotechniker Flurförderzeuge**  
**Stöcklin Logistik AG** 01/2022 – aktuell  
- Entwicklung / Weiterentwicklung  
- Umbauten  
- Technischer Support
- Fachmann Flurförderzeuge**  
**Stöcklin Logistik AG** 12/2017 – 12/2021  
- Montage und Inbetriebnahme  
- Prototypenbau
- Berufsausbildung Polymechniker EFZ**  
**Sauter AG** 08/2014 – 08/2017  
- Schwerpunkt: Fertigung und Prototypenbau  
- Werkzeugbau  
- CNC Drehen und Fräsen  
- Schweisskurs Elektroden und MAG

## BILDUNGSWEG

- Dipl. Elektrotechniker**  
**TEKO Basel Schweizerische Fachschule** 10/2019 – aktuell  
Momentan befinde ich mich im Diplomabschluss als Elektrotechniker.
- Berufsausbildung**  
**Polymechniker EFZ** 08/2014 – 07/2017
- Oberstufe Bezirksschule**  
**Oberstufen Zentrum Leimental** 08/ 2010 – 08/2014

## PROGRAMMIERSPRACHEN

C++  
Arduino

## MILITÄR

- Luftwaffe L flab LWF STINGER**  
**Rekrutenschule** 08/2017 – 11/ 2017  
**Resttage: 35 / 265**

### 3 Einleitung

Im Rahmen der Diplomarbeit wird im sechsten Semester 2022, ein Ex 'i' Speisetrenner für die Explosionsschutzzone 1 entwickelt.

Die Firma Stöcklin Logistik AG ist Hersteller von Flurförderzeugen (Stapler), welche im Ex-Bereich (Explosionsfähige Atmosphäre) betrieben werden dürfen. Die Maschine hat den Namen EXI 16 siehe Abbildung [3.1] und kann optional mit einem RAVAS Wiegesystem ausgestattet werden. Aktuell wird das Wiegesystem über eine externe eigensichere Ex i-Batterie mit Spannung versorgt.



Abbildung 3.1: EXI 16 mit Wiegesystem

Im Rahmen der Diplomarbeit soll ein Speisetrenner entwickelt werden, wodurch das Wiegesystem über die Fahrzeugbatterie betrieben werden kann. Das Wiegesystem benötigt jedoch eine Spannungsversorgung, welche von der Batteriespannung abweicht und muss aufgrund der Ex-Sicherheit mit entsprechender Eigensicherheit "i" (Leistungsbegrenzung) realisiert werden.

Die Arbeit umfasst eine Recherche, Entwicklung und Implementierung. Mit dem Zweck, dass das Fahrzeug auf eine zusätzliche eigensichere Batterie verzichten kann. Sowie den entsprechenden Auswertungen, Bewertungen und Festlegung der tolerierbaren Systemgrenzen.

#### 3.1 Ziele und Nutzen

- Das System wird zukünftig über die Fahrzeugbatterie betrieben.
- Die Anschaffung der EX i Batterie wird hinfällig.
- Der Anwender hat durch das Wegfallen der Ex i Batterie uneingeschränkte Sicht auf die aufzunehmende Last, die er mit der Maschine wiegen oder transportieren möchte.
- Der Anwender ist nur noch verpflichtet, die Fahrzeugbatterie zu laden, wobei er sich die Anschaffung eines Ladegeräts zum Laden der Ex i Batterie erspart.
- Die Zielgruppe sind die Kunden, die in der EX-Zone 1 auf ein Deichselgerät(EXI) mit Wiegesystem angewiesen sind.

## 3.2 Anforderungen aus dem Plichtenheft

Der Rahmen und Umfang der Diplomarbeit wurde in einem gesonderten Dokument, dem Plichtenheft, definiert:

Im Teil der Anforderungen wird zunächst der grundsätzliche Aufbau eines Ex i Speisetrenners beschrieben. Es wird beschrieben, nach welchen Normen gebaut werden muss. Ebenfalls werden die Ziele definiert, welche den Rahmen der Diplomarbeit vorgeben und erreicht werden sollten.

### 3.2.1 Aufbau

Der Ex i Speisetrenner muss in das druckfeste Gehäuse der EXI 16-Maschine eingesetzt werden. Der Speisetrenner muss auf einer DIN-Hutschiene montiert werden können.

Der Ex i Speisetrenner wird in zwei Bereiche eingeteilt. Dabei ist eine sichere, klare Trennung zwischen Ex i-Kreis und nicht Ex i-Kreis(en) notwendig. Der Speisetrenner soll über den nicht Ex i-Kreis mit 24 VDC gespiesen werden und auf der Ex i Seite 9 VDC sicher ausgeben.

### 3.2.2 Normen

Der Ex i Speisetrenner soll den Anforderungen der Normen entsprechen. Dafür sind folgende Normen zu berücksichtigen:

- Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 0: „Geräte – Allgemeine Anforderungen“ In der vorliegenden Schweizer Norm ist die EN IEC 60079-0:2018 [IEC 60079-0:2017] identisch.
- Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 11: „Geräteschutz durch Eigensicherheit i“ Diese Norm ist die deutsche Fassung EN 60079-11:2012 [IEC 60079-11:2011]

### 3.2.3 Systemvoraussetzung

Damit das Wiegesystem betrieben werden kann, wird von dem Ex i Speisetrenner eine konstante Spannung erwartet, welche der notwendigen Eigensicherheit entspricht. Dabei müssen die Spannungsdifferenzen der Fahrzeugbatterie berücksichtigt werden. Die Spannungen der Fahrzeugbatterie belaufen sich im Bereich von 18 bis max. 32 VDC. Das Wiegesystem soll dabei mit einer Bleisäure Batterie wie auch mit einer Lithium Batterie betrieben werden können.

Bei der Inbetriebnahme einer explosionsgeschützten Anlage mit Ex-i-Stromkreisen ist gemäss EN 60079-14 ein sogenannter „Nachweis der Eigensicherheit“ zu dokumentieren, um sicherzustellen, dass Speisetrenner (Quelle), Kabel und Wiegesystem (Verbraucher) die Anforderungen der Ex-i-Zusammenschaltung erfüllen.

### 3.2.4 Ziele

Das Ziel der Diplomarbeit ist, einen Prototyp eines Speisetrenners zu entwickeln, womit nach Abschluss der Diplomarbeit, eine Zulassung für ATEX beantragt werden kann.

Dazu wurden folgende muss/kann Teilziele definiert:

<b>Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>m/k</b>
1	Recherche	muss
2	Schaltungsaufbau	muss
3	DC/DC Spannungswandlung	muss
4	Galvanische Trennung	kann
5	Berechnung und Simulation	muss
6	Bauteilsuche	muss
7	Layout	muss
8	Gehäuse	kann
9	Auflöten	muss
10	Inbetriebnahme und Test	muss
11	Einbau und Test	kann

**Tabelle 3.1:** Ziele

## 4 Recherche

Im folgende Kapitel wird der allgemeine Explosionsschutz mit den möglichen Zündschutzarten und die Zündschutzart Eigensicherheit "i" mit dessen Parameter beschrieben. Zudem wird auf die Grundschtaltung und Erweiterung der DC/DC Wandlung eingegangen.

### 4.1 Explosionsschutz

Der Explosionsschutz ist ein Teilgebiet der Technik, er befasst sich damit, die Gefahren für die Entstehung einer möglichen Explosion zu verhindern. Explosionsschutz fällt in den Bereich Sicherheitstechnik und wird durch technische Lösungen wie Zündschutzarten und Zoneneinteilung definiert und mit Normen (z. B. IEC oder EN) beschrieben, welche laufend angepasst werden. Die Beachtung dieser Richtlinien aus den Normen sind wichtig, denn letztendlich sind Menschenleben durch eine nicht korrekte Umsetzung die, die gefährdet werden können [1].

#### Warum Explosionsschutz?

Explosionsschutz elektrischer und mechanischer Maschinen ist eine wichtige und notwendige Vorsorgemassnahme zur Sicherheit von Personen und Infrastrukturen, wie Lager- oder Produktionshallen, wo ein explosionsfähiges Luftgemisch aus brennbarem Gas oder Staub entstehen kann.

**Was ist eine Explosion?** Unter einer Explosion versteht man die schlagartig verlaufende chemische Reaktion eines brennbaren Stoffes. Für die Entstehung einer Explosion werden, wie bei Feuer immer 3 Elemente benötigt, Sauerstoff, brennbare Stoffe und eine Zündquelle z.B. ein Funken.

**Massnahmen zum Explosionsschutz?** Da in der Chemie- oder Pharmaindustrie oft mit explosionsfähigen Stoffen wie Gas, Dämpfe, Nebel oder Staub gearbeitet wird und auch der Sauerstoff vorhanden ist, befasst sich der Explosionsschutz vor allem mit der Verhinderung einer explosionsfähigen Atmosphäre und der Entstehung einer Zündquelle. Sei es ein Funken, Wärme oder Reibung.

Beispiele für Branchen, in denen es potenzielle Explosionsgefährdungen geben kann:

- Chemische Industrie
- Deponien
- Energieerzeugende Unternehmen
- Gasversorgungsunternehmen
- Metallverarbeitende Betriebe
- Holzverarbeitende Industrie
- Lackierbetriebe
- Holzverarbeitende Industrie
- Landwirtschaft
- Pharmaindustrie
- Nahrungs- und Futtermittelindustrie
- usw.

### 4.1.1 Zündschutzarten

Es gibt verschiedene Zündschutzarten, mit welchen ein sichereres betreiben in einer Explosionsfähigen Atmosphäre gewährleistet werden kann.

- Druckfester-Kapselung „Ex-d“ (EN 60079-1)
- Überdruck-Kapselung „Ex-p“ (EN 60079-2)
- Sand-Kapselung „Ex-q“ (EN 60079-5)
- Erhöhter Sicherheit „Ex-e“ (EN 60079-7)
- Eigensicherheit „Ex-i“ (EN 60079-11)
- Verguss-Kapselung „Ex-m“ (EN 60079-18)

### 4.1.2 Zoneneinteilung bei Gas und Staub

Orte, an denen eine Explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann, werden in 3 unterschiedliche Zonen eingeteilt. Siehe Abbildung[4.1]. Drei für Gas 0, 1, 2 und drei für Staub 20, 21 und 22 [2].

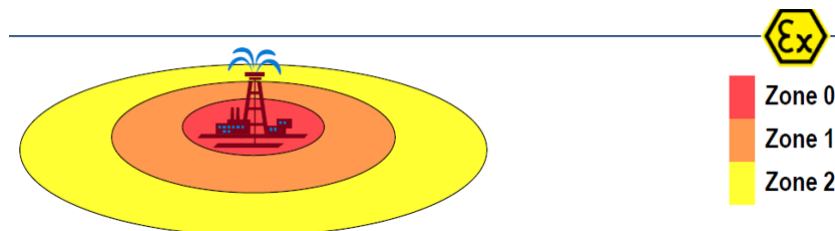


Abbildung 4.1: Zoneneinteilung

#### Zone 0 / 20

Die Zone 0 und/oder 20 ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln **ständig, über lange Zeiträume oder häufig** vorhanden ist.

#### Zone 1 / 21

Ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb **gelegentlich** eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.

#### Zone 2 / 22

Ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln **normalerweise nicht** oder aber nur **kurzzeitig** auftritt.

### 4.1.3 Kennzeichnung

Geräte welche in Ex - Zonen verwendet werden haben eine Kennzeichnung. Auf dem Gerät wird beschrieben, für welche Zone, welche Gerätegruppe, welche Zündschutzart, Stoff und Temperaturklasse das Gerät eingesetzt werden darf, siehe Beispiel [4.2].

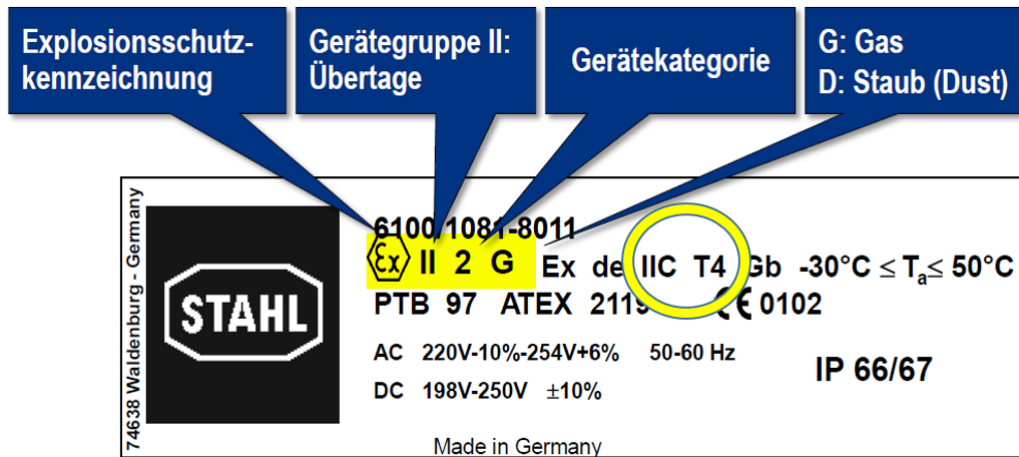




Abbildung 4.2: Kennzeichnung

Der gelb markierte Bereich ist die ATEX-Kennzeichnung sie gibt Auskunft über die Gerätegruppe Übertage (z.B. Produktionshallen) II, Untertage(z.B. Bergbauminen) wäre I. Die Zündschutzart dieses Gehäuses ist "d". Diese Informationen geben Auskunft, dass es sich um ein Druckfest gekapseltes Gehäuse der Firma Stahl ist. Der eingekreiste Teil gibt Auskunft über die Stoffe und Temperaturklassen, für welche das Gehäuse zugelassen ist.

### 4.1.4 EXI 16 Kennzeichnung

In Abbildung [4.3] wird das Gerät EXI 16 der Firma Stöcklin abgebildet. Man kann daraus erläutern, aus welchen Gruppen, Stoffen und Zündschutzarten das Gerät gekennzeichnet ist. Die rot markierten Stellen werden vom EXI 16 nicht abgedeckt wie z.B. Gruppe I Untertage oder Stoffe aus der Gruppe IIC wie Schwefelkohlenstoff, welcher eine Zündtemperatur von 85° Celsius hat.

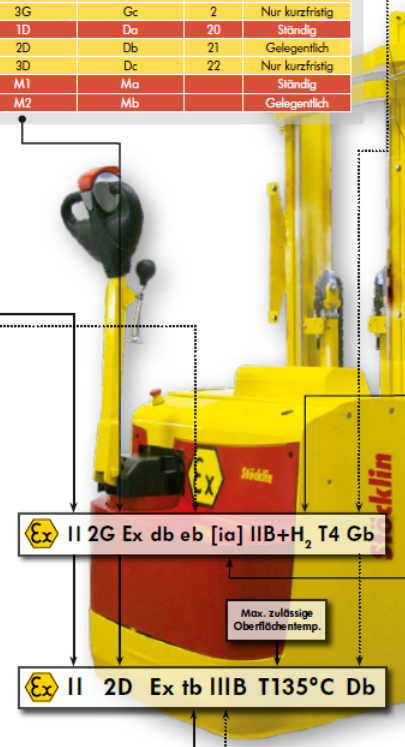




	Geräteklasse nach ATEX Richtlinie 94/9/EG	Geräteschutzniveau EPL (Equipment Protection Level)	Zone	Art der Gefahr
Gas	1G	Ga	0	Ständig
Gas	2G	Gb	1	Gelegentlich
Gas	3G	Gc	2	Nur kurzfristig
Staub	1D	Da	20	Ständig
Staub	2D	Db	21	Gelegentlich
Staub	3D	Dc	22	Nur kurzfristig
Bergbau	M1	Ma		Ständig
Bergbau	M2	Mb		Gelegentlich

Explosionsgruppen:	IEC ab 2007 CENELEC, 2009					
Gruppe I	Schlagwettergefährdete Grubenbaue (Unter Tage)					
	Methan					
Gruppe II	Gasexplosionsgefährdete Bereiche					
Untergruppen	Temperaturklassen: Max. zulässige Oberflächentemp.					
	T1 = 450° C	T2 = 300° C	T3 = 200° C	T4 = 135° C	T5 = 100° C	T6 = 85° C
II A	Ammoniak	Ethylalkohol	Benzin	Acetaldehyd		
	Methan	Methylamin	Dieselmotortreibstoff	Trimethylamin		
	Benzol	n-Propylalkohol	Heizöl			
II B	Aceton	Ethylen - Diamin	Düsenkraftstoff			
	Ethan	n-Butan	Petroleum			
	Propan	Pentanol	Terpentin			
II C	Stadtgas	Ethylen	Schwefelwasserstoff	Dibutylether		
	H-Cyanid		Ethylenglycol	Ethylether		
II C	Wasserstoff (+ H <sub>2</sub> )	Formaldehyd		Dipropylether		Schwefelkohlenstoff
		Acetylen				
Gruppe III	Bereiche mit brennbarem Staub					
Untergruppen						
	III A	brennbare Flusen				
	III B	nicht leitfähiger Staub				
III C	leitfähiger Staub					



Ex II 2G Ex db eb [ia] IIB+H<sub>2</sub> T4 Gb

Max. zulässige Oberflächentemp.

Ex II 2D Ex tb IIB T135°C Db

Kein Stöcklinprodukt

machbar, aber

Gerätegruppe I: Bergbau

II: Alle außer Bergbau

Symbol	Zone
e	1
e	2

Zündschutzart Erhöhte Sicherheit: Vermeidung von Funken und Temperaturerhöhungen, Kernschutzhüllen „e“ EN 60079-7

Symbol	Zone
d	1
d	2

Zündschutzart Druckfeste Kappe: Ex Atmosphäre wird von Zündquellen ferngehalten, Kernschutzhüllen „d“ EN 60079-1

Symbol	Zone
ib	1
ic	2

Zündschutzart Eigenisolation: Energiebegrenzung von Funken und Temperaturerhöhungen, Kernschutzhüllen „ib-ic“ EN 60079-11

Symbol	Zone
ta	20
tb	21
tc	22

Zündschutzart Schutz durch Gehäuse: Ex Atmosphäre wird von Zündquellen ferngehalten, Kernschutzhüllen „ta-tc“

Symbol	Zone
ia	20
ib	21
ic	22

Zündschutzart Eigenisolation: Energiebegrenzung von Funken + Temperaturerhöhungen, Kernschutzhüllen „ia-ic“ EN 60079-11

Stöcklin Logistik AG | +41 61 705 81 11 | info@stoecklin.com | www.stoecklin.com

Abbildung 4.3: EXI Kennzeichnung

#### 4.1.5 Zoneneinteilung in Kategorien

Die erste Verwirrung im Explosionsschutz kommt schon bei der Kategorie von Explosionsgeschützten Bauteilen. Siehe Tabelle [4.1]. Dabei ist Zone 0 nicht Kategorie 0, sondern Kategorie 1G für Gas oder 1D für Staub. Die Kategorie wird auf den Bauteilen angegeben und führt bei Bestellung von Ex-Bauteilen oft zu Verwirrungen, da bei den Bezeichnungen die Kategorie angegeben wird und nicht die Zone. [2]

<b>Zone Gas</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Zone Staub</b>	<b>Kategorie</b>
0	1G	20	1D
1	2G	21	2D
2	3G	22	3D

**Tabelle 4.1:** Zonenübersicht

## 4.2 Eigensicherheit "i"

Im folgenden Kapitel wird auf die Eigenschaften der Eigensicherheit, die Betriebsmittelarten und Schutzniveaus eingegangen. Im zweiten Teil werden wichtige Begriffe im Zusammenhang der Eigensicherheit erklärt.

### Was ist Eigensicherheit?

Die Zündschutzart der Eigensicherheit basiert auf dem Verhindern einer wirksamen Zündquelle. Die elektrische Energie wird auf Werte unterhalb der Mindestzündenergie der jeweiligen explosionsfähigen Atmosphäre begrenzt. Die Eigensicherheit eines Stromkreises wird durch die Begrenzung von Strom, Spannung, Leistung und Temperatur erreicht. Damit ist die Zündschutzart Eigensicherheit auf Stromkreise mit relativ kleinen Leistungen beschränkt.

#### 4.2.1 Eigenschaften der Zündschutzart Eigensicherheit Ex "i"

- Zündfähige Funken sind betriebsmäßig **nicht** erlaubt.
- Begrenzung innerhalb des Ex-i-Stromkreises.
- Der Leerlaufspannung  $U_0$  und des Kurzschlussstromes  $I_0$ .
- Begrenzung der Energiespeicher von  $C_i + C_0$  und  $L_i + L_0$ .
- Begrenzung der max. zul. Oberflächentemperatur des Ex-i Gerätes.
- Begrenzung der max. Temperaturen bei den verbauten Bauteilen.

#### 4.2.2 Betriebsmittelarten

In der Zündschutzart Eigensicherheit wird grundsätzlich zwischen zwei Betriebsmittelarten unterschieden. Es gibt "eigensichere Betriebsmittel" und "zugehörige eigensichere Betriebsmittel". Dabei befinden sich eigensichere Betriebsmittel, wie das Wiegesystem, in der Ex-Zone und ein zugehöriges eigensicheres Betriebsmittel ausserhalb der Zone oder in einem, durch eine Zündschutzart gesicherten Bereich. Der EX "i" Speisetrenner gilt als zugehöriges Betriebsmittel, da er im druckfest gekapselten Ex "d" Gehäuse der Maschine EXI 16 befindet.

**Eigensichere Betriebsmittel** bestehen aus reinen EX "i" Kreisen. **Zugehörige eigensichere Betriebsmittel** haben eigensichere sowie **nicht** eigensichere Stromkreise.

#### 4.2.3 Schutzniveau

Eigensichere Betriebsmittel oder zugehörige Betriebsmittel werden in drei verschiedene Schutzniveaus unterteilt.

- "ia"
- "ib"
- "ic"

Die Schutzniveaus werden den Zonen zugeteilt, für Zone 0 ist ein Schutzniveau "ia" notwendig. Für Zone 1 "ib" und Zone 2 "ic".

#### Kennzeichnung Eigensicherer Betriebsmittel

Die Kennzeichnung Eigensicherer Betriebsmittel stellt sich wie folgt zusammen:

II = Übertage / 1G = Zone 0, Gas / Ex = Explosionsschutz / ia = Zündschutzart / II\* = Stoffklasse, A, B oder C / T\* = Temperaturklasse T1-T6

- "ia" z.B. II 1G Ex ia II\* T\*
- "ib" z.B. II 1G Ex ib II\* T\*

- "ic" z.B. II 1G Ex ic II\* T\*

#### Kennzeichnung zugehörigen eigensicheren Betriebsmittel

Zugehörige eigensichere Betriebsmittel sind an einer eckigen Klammer und die Zündschutzart zu erkennen.

- "ia" z.B. II 1G [Ex ia] II\* T\*
- "ib" z.B. II 1G [Ex ib] II\* T\*
- "ic" z.B. II 1G [Ex ic] II\* T\*

### 4.3 Begriffserklärung

In folgendem Kapitel wird auf verschiedenen Begriffe und elektrische Parameter eingegangen, welche für den Bau eine EX "i" Speisetrenner einen wichtigen Einfluss haben.

#### 4.3.1 Elektrische Parameter

Die elektrischen Parameter [3] geben eine Auskunft über die Ausgangswerte von zugehörigen Betriebsmittel und Eingangs werten der Eigensicheren Betriebsmittel.

Die Maximalwerte gebe Auskunft über die Eigensicherheit und ob eine Zusammenschaltung von Ex "i" Betriebsmitteln zulässig ist. Bei der Zusammenschaltung dürfen die Output-Werte des EX "i" Speisetrenners, die Spannung, Strom und Leistung ( $U_o$ ,  $I_o$ ,  $P_o$ ) die Input-Werte des installierten Wiegesystemes ( $U_i$ ,  $I_i$ ,  $P_i$ ) nicht übersteigen und die Kapazitäten und Induktivitäten vom Wiegesystem ( $C_i$ ,  $L_i$ ) plus der angeschlossenen Kabel-Werte ( $C_c$ ,  $L_c$ ) die Grenzwerte von  $C_o$  und  $L_o$  nicht überschreiten. Dadurch lässt sich der Nachweis der Eigensicherheit erstellen [4].

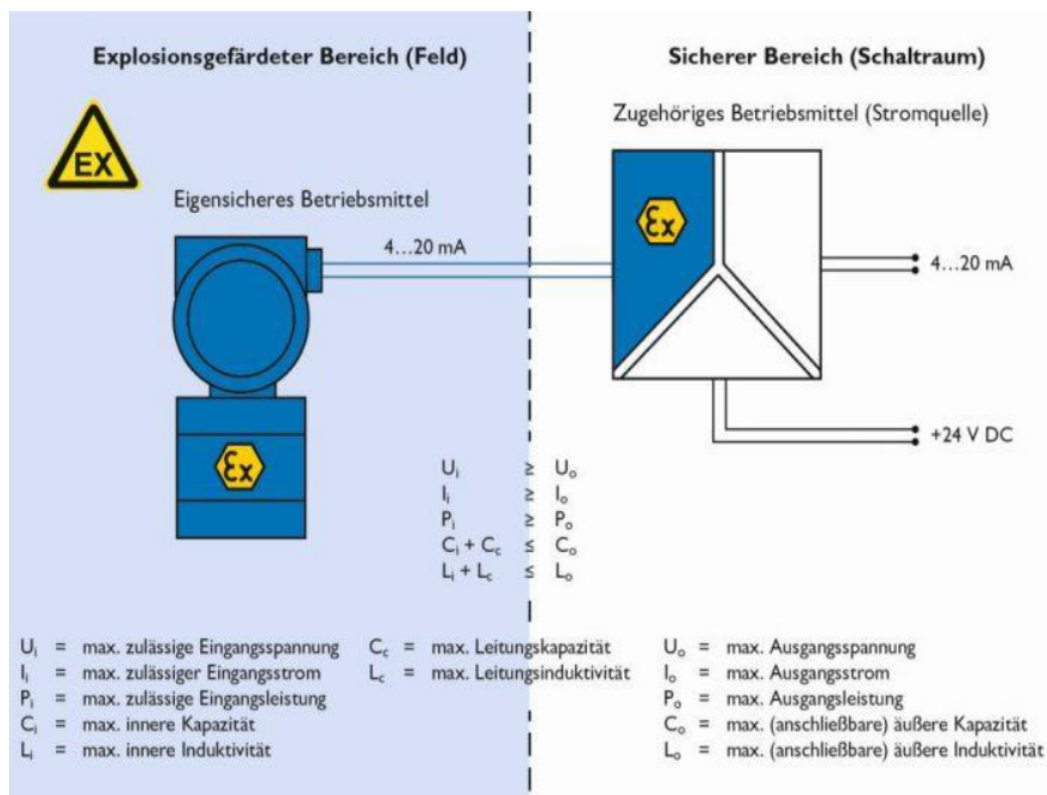


Abbildung 4.4: Betrachtung einer Ex-i-Zusammenschaltung

**maximale Eingangsspannung  $U_i$** 

Höchste Spannung (Spitzenwert der Wechselspannung oder die Gleichspannung), die an die Anschlussteile eines Betriebsmittels (Wiegesystem) angelegt werden kann, ohne die Schutzart aufzuheben.

**maximaler Eingangsstrom  $I_i$** 

Höchster Strom (Spitzenwert des Wechselstromes oder der Gleichstrom), der über die Anschlussteile eines Betriebsmittels eingespeist werden kann, ohne die Schutzart aufzuheben.

**maximale Eingangsleistung  $P_i$** 

Höchste Eingangsleistung, die über die äusseren Anschlussteile eines Betriebsmittels zugeführt werden kann, ohne die Schutzart aufzuheben.

**maximale innere Kapazität  $C_i$** 

Maximale an den Anschlussteilen des Betriebsmittels wirksame Ersatzkapazität der internen Kapazitäten des Betriebsmittels.

**maximale innere Induktivität  $L_i$** 

Maximale an den Anschlussteilen des Betriebsmittels wirksame Ersatzinduktivität der internen Induktivitäten des Betriebsmittels.

**maximales inneres Induktivitäts-/Widerstandsverhältnis  $L_i/R_i$** 

Höchster Wert des Verhältnisses der Induktivität zum Widerstand, der an den Anschlussteilen des Betriebsmittels wirksam werden kann.

**maximale Ausgangsspannung  $U_0$** 

Höchste Spannung (Spitzenwert der Wechselspannung oder die Gleichspannung), die beim Anlegen einer beliebigen Spannung bis zur Höchstspannung an den Anschlussteilen eines Betriebsmittels (Ex i Batterie oder Speisetrenner) auftreten kann.

**maximaler Ausgangsstrom  $I_0$** 

Höchster Strom (Spitzenwert des Wechselstromes oder der Gleichstrom), der den Anschlussteilen eines Betriebsmittels entnommen werden kann.

**maximale Ausgangsleistung  $P_0$** 

Höchste elektrische Leistung, die einem Betriebsmittel entnommen werden kann.

**maximale äussere Kapazität  $C_0$** 

Höchster Wert der Kapazität, der an die Anschlussteile des Betriebsmittels angeschlossen werden kann, ohne die Schutzart aufzuheben.

**maximale äussere Induktivität  $L_0$** 

Höchster Wert der Induktivität, der an die Anschlussteile des Betriebsmittels angeschlossen werden kann, ohne die Schutzart aufzuheben.

**maximales äusseres Induktivitäts-/Widerstandsverhältnis  $L_0/R_0$** 

Höchster Wert des Verhältnisses der Induktivität zum Widerstand eines äusseren Stromkreises, der an den Anschlussteilen des elektrischen Betriebsmittels angeschlossen werden kann, ohne die Eigensicherheit aufzuheben.

**maximaler Effektivwert der Wechselspannung oder maximale Gleichspannung  $U_m$**   
Höchste Spannung, die an die nichteigensicheren Anschlusssteile der zugehörigen Betriebsmittel angelegt werden kann (Batteriespannung der Fahrzeugbatterie), ohne die Zündschutzart zu beeinträchtigen.

#### 4.3.2 Fehlerarten

In der Norm EN 60079-11 werden Betriebsmittel einer Fehlerbeurteilung unterzogen. Dabei wird in drei unterschiedliche Fehlerarten unterteilt. Zählbare Fehler, Fehler und nicht zählbare Fehler.

##### Zählbare Fehler

Ein zählbarer Fehler ist ein Fehler, der in einem Betriebsmittel auftritt, welches mit der Bauanforderung der Norm übereinstimmt.

##### Fehler

Ein Fehler ist jeder Defekt eines beliebigen Bauteils, einer Trennung, Isolierung oder Verbindung zwischen Bauteilen, die durch die Norm als nichtstöranfällig festgelegt sind und von denen die Eigensicherheit eines Stromkreises abhängt. Als nichtstöranfällig gilt z.B. ein Bauteil wie ein Strom begrenzender Widerstand, der nach der 2/3 Auslasung (siehe Kapitel 4.3.5) ausgelegt wurde.

##### Nichtzählbare Fehler

Ein Nichtzählbarer Fehler sollte nicht auftreten, da er von einem Bauteil entsteht, welches **nicht** mit den Bauanforderungen der Norm übereinstimmt.

#### 4.3.3 Vermeidung thermischer Zündung

Dabei werden die Leiterbahnen nach der Temperaturklasse, Leiterbahnbreite und der fließende Strom in der Norm EN 60079-11 Tabelle 3 festgelegt, damit die zulässige Oberflächentemperatur nicht überschritten wird. Bauteile werden nach Grösse beurteilt und dürfen auch im Fehlerfall die in der Norm angegebenen Temperaturen bei einer Umgebungstemperatur von 40 Grad nicht übersteigen. die Temperaturanforderungen an Bauteilen werden in der Norm Allgemeine Anforderungen EN 60079-0 beschrieben.

#### 4.3.4 Trennabstände und Kriechstrecken

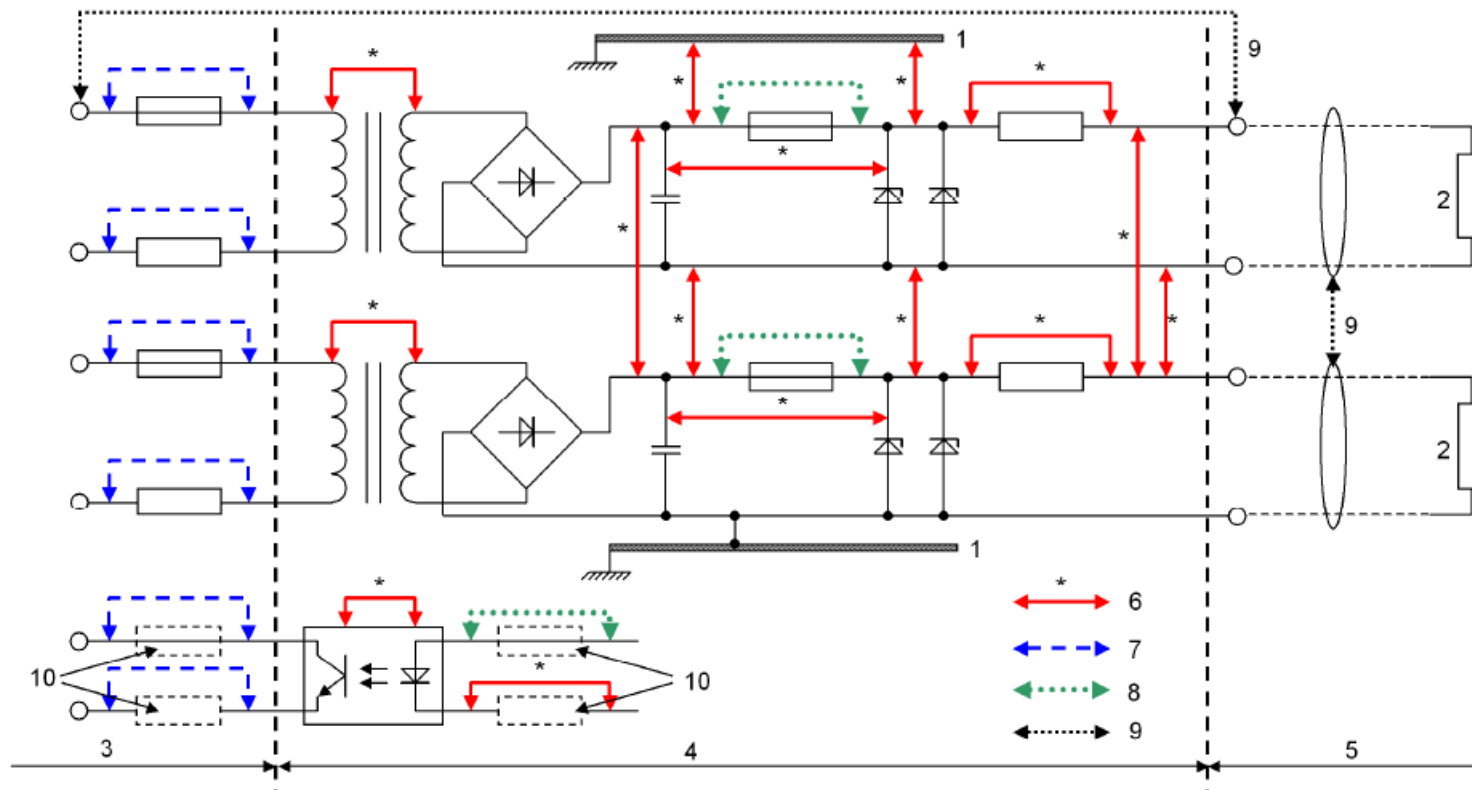
Trennabstände, Kriechstrecken und Luftstrecken werden in der Norm EN 60079-11 [5] Tabelle 5 Abbildung [4.5] definiert und müssen im Eigensicheren Ex "i" Kreis berücksichtigt werden. Ein Beispiel für die Einhaltung der Abstände, ist in Abbildung [4.6] zu sehen. Kriechstrecken sind Abstände z.B. von Pads oder Leiterbahnen. Luftstrecken sind Abstände zwischen Bein zu Bein, von THT-Dioden oder Stecker. Der Trennabstand wird zwischen Ex "i" Kreis und nicht Ex "i" Kreis festgelegt, z.B. über die galvanische Trennung.

Tabelle 5 – Luft- und Kriechstrecken und Trennabstände

1	2		3		4		5		6		7	
Spannung (Spitzenwert) V	Luftstrecke mm		Trennabstand durch Vergussmasse mm		Trennabstand durch feste Isolierung mm		Kriechstrecke in Luft mm		Kriechstrecke unter der Schutzschicht mm		Kriechstromzahl (CTI) <sup>a</sup>	
Schutzniveau	ia, ib	ic	ia, ib	ic	ia, ib	ic	ia, ib	ic	ia, ib	ic	ia	ib, ic
10	1,5	0,4	0,5	0,2	0,5	0,2	1,5	1,0	0,5	0,3	–	
30	2,0	0,8	0,7	0,2	0,5	0,2	2,0	1,3	0,7	0,3	100	100
60	3,0	0,8	1,0	0,3	0,5	0,3	3,0	1,9	1,0	0,6	100	100
90	4,0	0,8	1,3	0,3	0,7	0,3	4,0	2,1	1,3	0,6	100	100
190	5,0	1,5	1,7	0,6	0,8	0,6	8,0	2,5	2,6	1,1	175	175
375	6,0	2,5	2,0	0,6	1,0	0,6	10,0	4,0	3,3	1,7	175	175
550	7,0	4,0	2,4	0,8	1,2	0,8	15,0	6,3	5,0	2,4	275	175
750	8,0	5,0	2,7	0,9	1,4	0,9	18,0	10,0	6,0	2,9	275	175
1 000	10,0	7,0	3,3	1,1	1,7	1,1	25,0	12,5	8,3	4,0	275	175
1 300	14,0	8,0	4,6	1,7	2,3	1,7	36,0	13,0	12,0	5,8	275	175
1 575	16,0	10,0	5,3		2,7		49,0	15,0	16,3		275	175
3,3k		18,0	9,0		4,5			32,0				
4,7 k		22,0	12,0		6,0			50,0				
9,5 k		45,0	20,0		10,0			100,0				
15,6 k		70,0	33,0		16,5			150,0				

<sup>a</sup> Vom Hersteller muss der Nachweis erbracht werden, dass die Isolierstoffe die CTI-Anforderungen erfüllen. Bei Spannungen von bis zu 10 V braucht keine Kriechstromzahl für Isolierstoffe festgelegt zu werden.

Abbildung 4.5: Tabelle 5



Legende

- |   |  |    |  |
|---|--|----|--|
| 1 | Chassis  | 6  | Maße, für die Tabelle 5 oder Anhang F gelten   |
| 2 | Last   | 7  | Maße, für die allgemeine Industrienormen gelten  |
| 3 | nichteigensicherer Stromkreis, der mit $U_m$ definiert ist           | 8  | Maße nach 7.3  |
| 4 | Teil des eigensicheren Stromkreises, der selbst nichteigensicher ist | 9  | Maße nach 6.2.1 für Ausgangsklemmen zwischen getrennten eigensicheren Stromkreisen und zwischen eigensicheren Stromkreisen und nichteigensicheren Stromkreisen |
| 5 | eigensicherer Stromkreis   | 10 | Schutzelemente wie nach 8.9 anwendbar  |

Abbildung 4.6: Beispiel für die Trennung von leitfähigen Teilen

### 4.3.5 2/3 Auslastung

Bei einem Schutzniveau "ia" oder "ib" dürfen Bauteile wie z.B. Widerstände, die von der Zündschutzart abhängen, nicht mehr als zwei Dritteln ihres maximalen Stromes, ihrer maximalen Spannung und ihrer maximalen Leistung, auf den Bemessungswerten der Bauteile bezogen werden [6].

In der Norm ist beschrieben, dass Transformatoren mit ihrem üblichen Bemessungswerten betrieben werden dürfen, um ordnungsgemäss zu funktionieren.

### 4.3.6 Kennlinien

Es gibt drei verschiedene Kennlinien, wie die Eigensicherheit gewährleistet werden kann. die lineare, trapezförmige und rechteckförmige Kennlinie [7].

#### Lineare Kennlinie

Schematische Darstellung z.B. eines eigensicheren Stromkreises mit Schutzniveau "ia". Siehe Abbildung [4.7]. (Galvanische Trennung; dreifache Spannungsbegrenzung und „rein“ ohmsche Strombegrenzung)

Die Leerlaufspannung  $U_0$  wird durch die Durchbruchspannung der Z-Dioden D1-D3 bestimmt, dabei wird nicht der Mittelwert der Diode angegeben, sondern der von der Toleranz festgelegte Höchstwert. Der Kurzschlussstrom  $I_0$  wird durch die Strom begrenzenden Widerstand  $R_i$  bestimmt. Die Verlustleistung  $P_0$  einer linearen Kennlinie wird durch folgende Formel [4.1] errechnet.

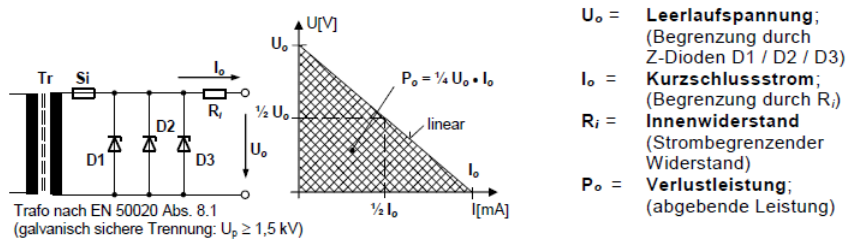


Abbildung 4.7: Lineare Kennlinie

$$P_0 = \frac{U_0 * I_0}{4} \quad (4.1)$$

#### Trapezförmige Kennlinie

Schematische Darstellung z.B. eines eigensicheren Stromkreises mit Schutzniveau "ib". Siehe Abbildung [4.8]. (zweimal unterschiedliche doppelte Spannungsbegrenzung und ohmsche Strombegrenzung)

Bei der trapezförmigen Kennlinie wird die Strombegrenzung  $R_i$  vor der Spannungsbegrenzung  $U_0$  durchgeführt, wodurch die Ausgangsspannung  $U_0$  nicht von den Strom begrenzenden Widerstände beeinflusst wird.

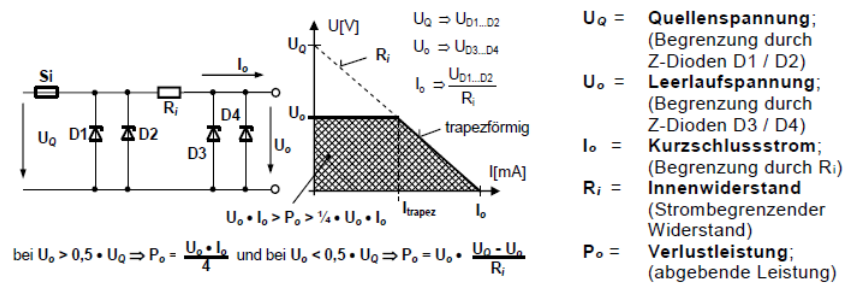


Abbildung 4.8: Trapezförmige Kennlinie

### Rechteckförmige Kennlinie

Schematische Darstellung z.B. eines eigensicheren Stromkreises mit Schutzniveau "ib". Siehe Abbildung [4.9]. (zweifache elektronische Strombegrenzer-Schaltung und doppelte Spannungsbegrenzung)

Durch eine elektrische Strombegrenzerschaltung ist an der Ausgangsseite der Eigensicheren Schaltung immer eine konstante Spannung  $U_o$ , Strom  $I_o$  und Leistung  $P_o$  verfügbar und nicht abhängig vom Verbraucher wie bei einer linearen Kennlinie.

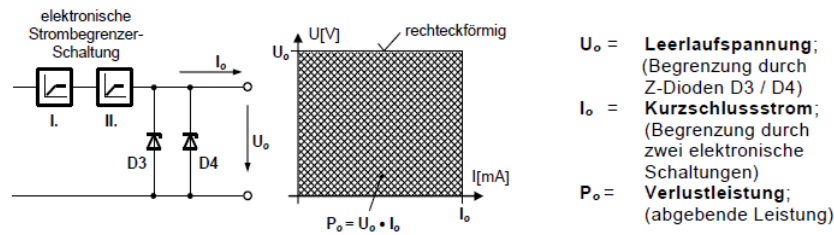


Abbildung 4.9: Rechteckförmige kennlinie

### 4.3.7 Vergussmasse und Schutzschicht

Wenn eine Kriechstrecke, Trennabstand oder eine Luftstrecke wie in Tabelle 5 [4.5] nicht eingehalten werden kann. In Spalte 3 sind die Abstände unter Vergussmasse, oder in der Spalte 6 die Abstände unter Schutzschicht angegeben. Das Anwenden einer der beiden Verfahren ermöglicht eine Verkleinerung der Luftstrecke oder Kriechstrecke in Luft.

#### Vergussmasse

Eine Vergussmasse ist eine Masse, welche um die freiliegenden Bauteile umgossen wird, bei welchen, Kriechstrecken in Luft und Luftstrecken nicht eingehalten werden können. Die Vergussmasse darf keine Risse aufweisen, wodurch Verschmutzung oder Feuchtigkeit zu den Leitern gelangen kann. Vergussmasse, kann auch zur Verringerung der Oberflächentemperatur eingesetzt werden. Unter Einsatz einer Vergussmasse können die Werte auf in Tabelle 5, Spalte 3 verringert werden [8]. Siehe Tabelle 5 [4.5].

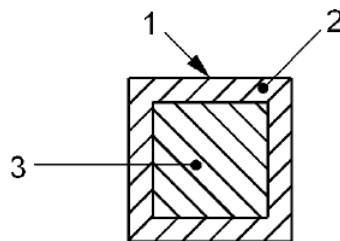


Abbildung 4.10: Vergussmasse

- 1 Freie Oberfläche.
- 2 Vergussmasse mit einer min. Schichtdicke vom 1 mm oder  $1/2$  von Spalte 3 der Tabelle 5 angegebener Wert.
- 3 Bauteil, die Vergussmasse braucht nicht einzudringen.

### Schutzschicht

Eine Schutzschicht ist ein Isolierstoff wie Lack oder Trockenfilm, der auf der Oberfläche der Platine aufgetragen wird. Eine der Anforderungen entsprechende Schutzschicht, muss den Kriechstrecke zwischen den betroffenen Leitern gegen eindringen von Verunreinigungen oder Feuchtigkeit schützen. Sie muss an den leitfähigen Teilen haften. Beim Aufsprühen einer Schutzschicht müssen mindestens 2 Lagen aufgetragen werden.

Eine Lötmaske einer Leiterplatte zählt nicht als konforme Schutzschicht. Die Lötmaske kann, wenn sie durch den Lötvorgang nicht beschädigt wurde, als eine von zwei Schutzschichten angenommen werden.

Der aufgesprühte Schutzlack muss den Anforderungen eines Typ 1 Schutzlack nach IEC 60664-3 erfüllen. Die Einhaltung der Kriechstrecken unter der Schutzschicht müssen geprüft und für die Zulassung dokumentiert werden. In Abbildung [4.11] sind die Anforderungen der Schutzschicht zu sehen [9]. Siehe Tabelle 5 [4.5].

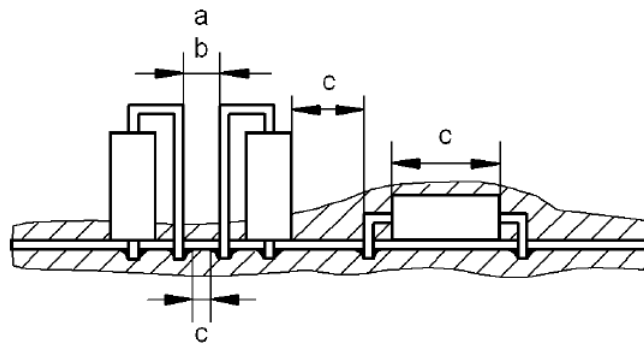


Abbildung 4.11: Schutzschicht

- a Es gelten die Anforderungen welche in Tabelle 5 Spalte 2 für Luftstrecken.
- b Es gelten die Anforderungen welche in Tabelle 5 Spalte 5 für Kriechstrecken in Luft.
- c Es gelten die Anforderungen welche in Tabelle 5 Spalte 6 für Kriechstrecken unter Schutzschicht.

## 4.4 DC/DC Wandlung

Damit das Wiegesystem mit 9VDC betrieben werden kann. Muss im nicht Ex i-Kreis die Spannung über einen Spannungswandler von 24VDC auf 9VDC reduziert werden.

Für einen Speisertrenner der Zone 1, Zündschutzart 'ib' ist eine Galvanische Trennung nicht zwingend notwendig. Soll jedoch der Speisertrenner für Zone 0, Zündschutzart 'ia' ausgelegt werden, müssen "Nicht" Ex 'i' Kreise von Ex 'i' Kreisen galvanisch voneinander getrennt sein.

Bei einer isolierten (galvanisch getrennten) DC / DC Spannungswandlung, wird die DC-Eingangsspannung an eine sinusförmige Wechselspannung angenähert und über einen Transformator galvanisch voneinander getrennt. Nach dem Trafo wird die Spannung wieder gleichgerichtet und mittels Kondensator geglättet.

Im folgenden Teil wird der Aufbau der DC/DC Wandlung beschrieben. Die Vorgehensweise für die DC/DC Wandlung begann mit der Grundsaltung eines Abwärtswandlers (engl. buckdown converter). In LtSpice wurde die Funktionsweise der Grundsaltung eines Abwärtswandlers simuliert.

### 4.4.1 Der Abwärtswandler

Auf der linken Seite des Abwärtswandlers Abb.[4.12] befindet sich die Eingangsspannung  $U_E$ . Über den Schalter S wird eine Rechteckspannung erzeugt. Der Schalter wird in der Simulation, Pulsweiten moduliert (PWM) angesteuert, mittels einer Rechteckspannungsquelle und einem MOSFET. Auf der Ausgangsseite  $U_A$  soll wieder eine Gleichspannung abgegriffen werden können. Um die Rechteckspannung wieder zu glätten, wird ein LC-Tiefpassfilter eingesetzt. Über die Spule L wird eine Induktivität eingesetzt, welche den Strom begrenzt und über den Kondensator C die Ausgangsspannung  $U_A$  geglättet. Der LC-Tiefpassfilter filtert den Mittelwert aus der vom MOSFET erzeugten Rechteckspannung, dabei ist der Mittelwert die Ausgangsspannung  $U_A$ .

Damit der Strom  $I_L$  durch die Spule L bei geöffnetem Schalter S weiterfließen kann, wird ein Freilauf Diode D eingesetzt.

- Schalter S wird Pulsweiten moduliert ein- und ausgeschaltet.
- die an der Diode D entstehende PWM-Spannung  $U_D \Rightarrow U_{DMax.} = U_E$  und  $U_{DMin.} = 0V$
- Der LC-Filter (Tiefpass filtert aus der Spannung  $U_D$  den Mittelwert  $\Rightarrow U_A$

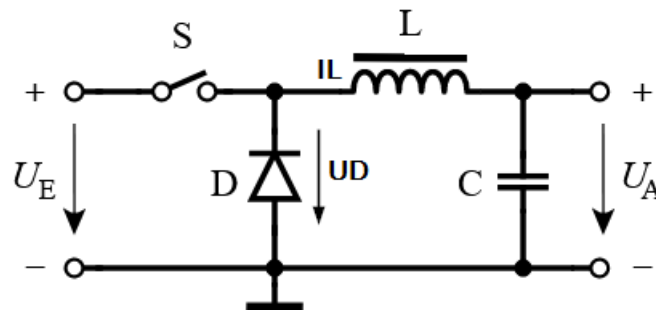


Abbildung 4.12: Abwärtswandler

### Simulation in LtSpice

In LtSpice wurde die Grundsaltung des Abwärtswandlers simuliert. Auf der Abbildung[4.14] sind die simulierten Werte der Ausgangsspannung  $U_A$  (V(n003), das erzeugte PWM-Signal (V(n004)), die Pulsweiten modulierte Schaltspannung  $U_D$  (V(n002)) und der fließende Strom  $I_L$  (I(L1)) über die Spule L zu sehen.

Durch das Einsetzen eines RC-Glied vor dem MOSFET wird der Gatestrom durch den Widerstand R1 begrenzt. Für kurze Ansteuerungszeiten, wird die gespeicherte Energie des Kondensators C2 für die Ansteuerung des Gates verwendet. Dies verbessert die Signalform und die maximale Schaltfrequenz.

Am Ausgang wurde ein  $100\Omega$  Widerstand eingesetzt, um einen Verbraucher zu simulieren.

Dabei wurde ersichtlich, dass die Schaltung funktioniert und die Spannung von 24 V auf 10 V reduziert wurde und durch den Kondensator C1 eine saubere Glättung aufweist.

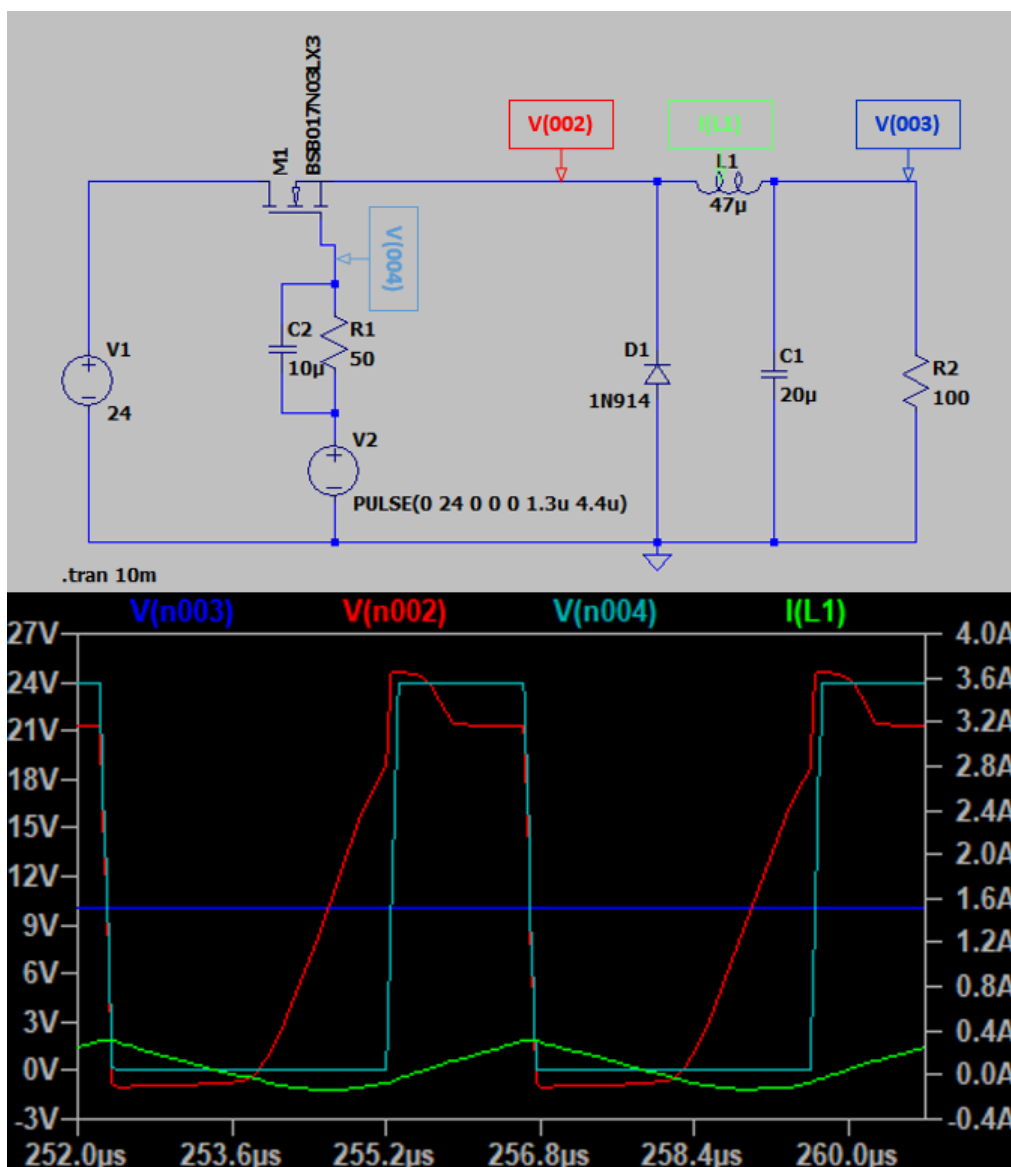


Abbildung 4.13: Simulation Abwärtswandler

#### 4.4.2 Sperrwandler

Um die Simulation der Realität anzunähern, wurde die galvanische Trennung, wie auch die verwendete Schaltung des Schalters M1 integriert, um das Verhalten der Schaltung über den Transformator zu überprüfen. Durch das Einsetzen eines Transformators (Spule L1 und L2) werden die Eingangsspannung  $U_E$  von der Ausgangsspannung  $U_A$  galvanisch getrennt. Siehe Abbildung [4.14].

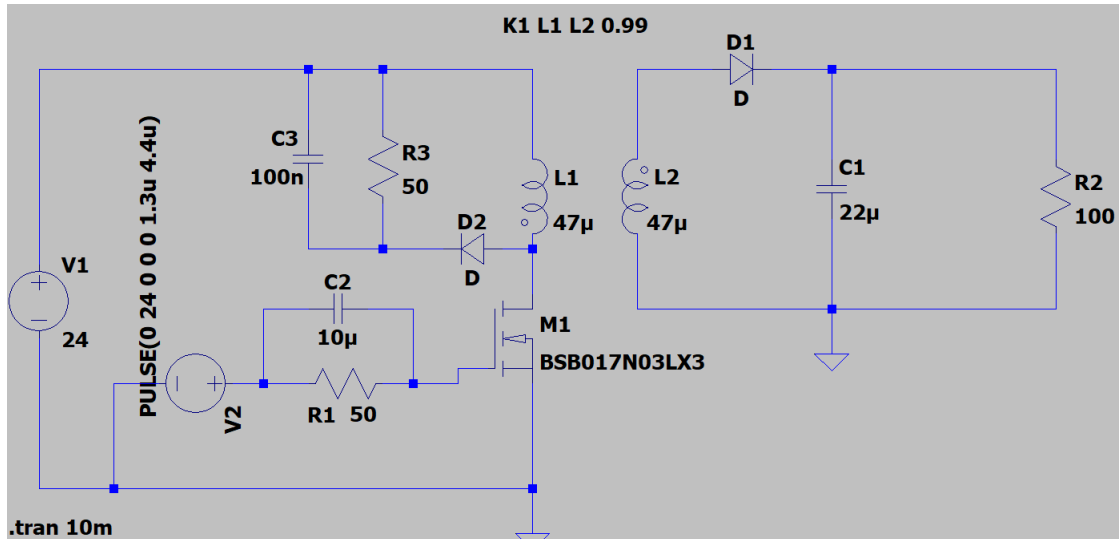


Abbildung 4.14: Simulation Abwärtswandler

#### Der DC/DC Konverter

Ein DC/DC Konverter ist ein IC, der die Schaltung einer PWM Rechteckspannung übernimmt und ersetzt die in Abbildung [4.14] gezeigte Quellspannung V2. Die am Eingang zugeführte Gleichspannung wird in ein niedriges oder höheres Spannungsniveau umgewandelt. Durch Öffnen und Schliessen des integrierten Schaltelements wird die Gleichspannung in eine rechteckförmige Wechselspannung umgewandelt. Die ausgegebene rechteckförmige Wechselspannung wird dann, zur Ansteuerung des MOSFET vor dem Transformator genutzt.

#### Transformator

Ein Transformator beispielsweise, bestehend aus zwei Spulen, überträgt eine Eingangswechselspannung in eine Ausgangswechselspannung. Wieviel Spannung dabei übertragen wird, hängt von der Windungszahl der Ein- und Ausgangsseite des Transformators ab. Es ist auch eine 1 : 1 Übertragung, für eine galvanisch getrennte Übertragung möglich. Durch die Spannung an der Eingangsseite wird durch ein wechselndes magnetisches Feld die Spannung über die beiden Spulen übertragen.

## 5 Hardware und Simulation

Der ADP1071-2 ist ein pulsweitenmodulierter (PWM) Flyback Controller. Der ADP1071-2 hat eine integrierte Galvanische Trennung [10]. Im Anhang ist das Datenblatt hinterlegt [A.1]. Der IC regelt die Ein- und Ausgangsspannung des Transformators. Die Ausgangsregelung erfolgt durch Erfassung der Ausgangsspannung auf der Sekundärseite, wobei die Rückkopplungs- und PWM-Signale zwischen der Primär- und der Sekundärseite über den ADP1071-2 übertragen werden. Der ADP1071-2 ist für isolierte Gleichstrom-Anwendungen mit einer Eingangsspannung von maximal 36 V ausgelegt.

### Technische Daten

<b>Struktur:</b>	Flyback Schaltregler
<b>Schaltfrequenz:</b>	50 - 600 KHz einstellbar
<b>Eingangsspannung:</b>	4.7V - 40V
<b>Ausgangsspannung:</b>	4.5V - 36V
<b>Isolierung:</b>	galvanisch getrennt
<b>MOSFET Treiberleistung:</b>	1A

### 5.1 Aufbau und Funktion

In Abbildung[5.1] ist das Blockschaltbild und in Abbildung[5.2] die typische Zusammenschaltung für eine galvanisch getrennte DC/DC Schaltung zu sehen.

Am Eingang des IC's VIN wird eine Spannung von 24V angeschlossen, welche am VREG1 Pin eine 8V Spannung für den Betrieb des Systems bereitstellt. Am Pin EN (Enable) werden vom IC-Regler min. 1.2 V erwartet. Wenn die Spannung über den Wert 1.2 V ansteigt wird am Pin GATE eine 8V Rechteckspannung ausgegeben. Die Frequenz des IC-Reglers wird über den Pin RT mit einem Widerstand  $R_{RT}$  eingestellt.

#### Frequenzeinstellung $R_{RT}$

480 kOhm	50 kHz
240 kOhm	100 kHz
120 kOhm	200 kHz
80 kOhm	300 kHz
60 kOhm	400 kHz
40 kOhm	600 kHz

$$f_s(kHz) = \frac{1}{41.67 * 10^{-12} * R} * \frac{1}{1000} = \frac{1}{41.67 * 10^{-12} * 80k\Omega} * \frac{1}{1000} = 299.97kHz \quad (5.1)$$

Es wird ein Softstart eingeleitet, wenn eine Spannung über 1.2V am Pin EN anliegt. Der Softstart ist in der Simulation gut erkennbar. Um einen gleichmässigen Anstieg der Ausgangsspannung zu gewährleisten, wird die Softstart-Sequenz durch zwei Steuerschaltungen redundant gesteuert. Einer im Primärkreis unter der Verwendung des GATE Pin und der andere in der Sekundärseite über den SS2 Pin. Die Primärseite übergibt der Sekundärseite die Kontrolle über den weiteren Spannungsanstieg. Die Softstartzeit wird im primären Regelkreis am Pin Gate durch den Widerstand  $R_{SENSE}$  bestimmt. Während dieser Zeit beginnt der IC mit der Ausgabe der PWM-Impulse und die Ausgangsspannung baut sich langsam auf.

Bei einem Tastverhältnis von mehr als 50 Prozent ist für einen stabilen Betrieb eine Steigungskompensation erforderlich. Um eine externe Kompensation im ADP1071-2 einzurichten, wird ein externer  $R_{RAMP}$  Widerstand (siehe Abb.[5.2]) zwischen CS und dem Strommesswiderstand  $R_{SENSE}$  angeschlossen. Siehe Formel [5.2] und [5.3], um die Spannungsrampe für die Flanke des Steuersignals einzurichten.

$$R_{SENSE} = \frac{V_{CS-LIM} - R_{RAMP} * 20\mu A}{I_{PKPRI}} = 8.2m\Omega \quad (5.2)$$

- $V_{CS-LIM}$  ist CS-Stromgrenze
- $I_{PKPRI}$  ist der primäre Spitzenstrom

$$R_{RAMP} = 0.5 * \frac{V_{OUT}}{L} * \frac{N_2}{N_1} * \frac{R_{SENS}}{20\mu A} * t_s = 100\Omega \quad (5.3)$$

- $k = 0,5$  für nominale Fälle
- $V_{OUT}$  ist die gewünschte Ausgangsspannung.
- $L$  ist die Ausgangsinduktivität des Transformators.
- $N_1$  und  $N_2$  sind die Primär- und Sekundärwindungen des Transformators.
- $t_s$  ist die Schaltperiode.

Wenn die Spannung von 9V aufgebaut ist, findet der Flybackvorgang statt, das heisst die Ausgangsspannung wird auf die Sekundärseite des IC's zurückgeführt und überwacht. Auf der sekundär Seite am Pin FB wird ebenfalls eine Spannung von 1.2V erwartet. diese wird über einen Spannungsteiler mit der gewünschten Ausgangsspannung eingestellt, siehe Formel[5.4] und [5.5].

Der OVP Pin (Overvoltage Protection) überprüft eine anliegende Fehlerspannung am Ausgang, wenn die Eingangsspannung am Pin OVP höher als 1.36 V steigt, schaltet er die ganze Sekundär und Primärseite ab. Die Max. Ausgangsspannung wird ebenfalls über einen Spannungsteiler, siehe Formel[5.4] und [5.5] eingestellt.

$$I_{ges} = \frac{U_E}{R_{GES}} = \frac{9.3V}{31k\Omega} = 293\mu A \quad (5.4)$$

$$R1 = \frac{U_{R1}}{I_{GES}} = \frac{7.94V}{293\mu A} = 27k\Omega \quad (5.5)$$

In Abhängigkeit von den Werten, die an FB, OVP, SS2 und COMP anliegen. wird der Regelkreis gestartet. Am Pin SR wird eine 5V Rechteckspannung ausgegeben, welche an der Ausgangsseite des Transformators stabilisiert und nachregelt.

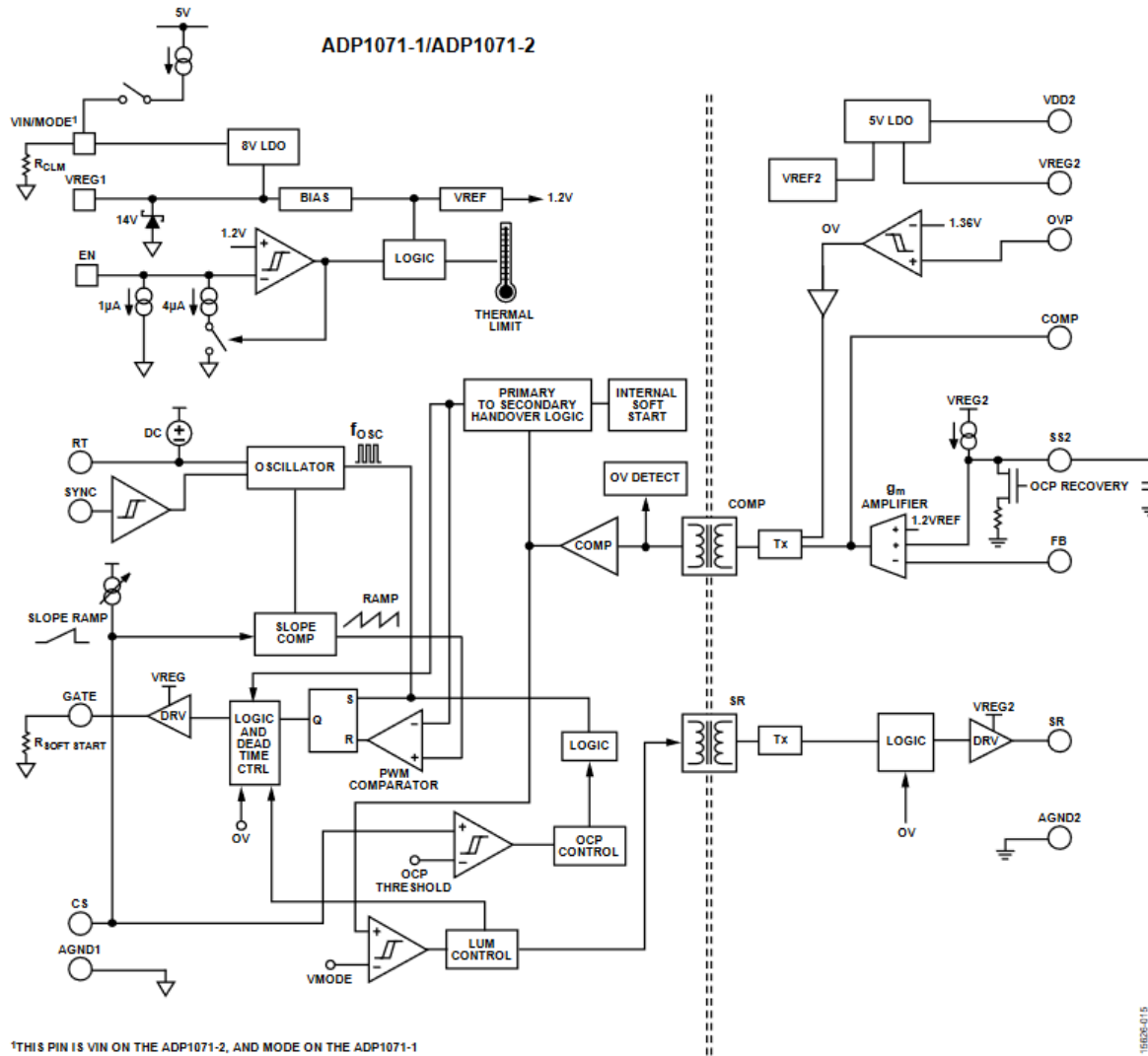


Abbildung 5.1: Flyback ADP1071-2

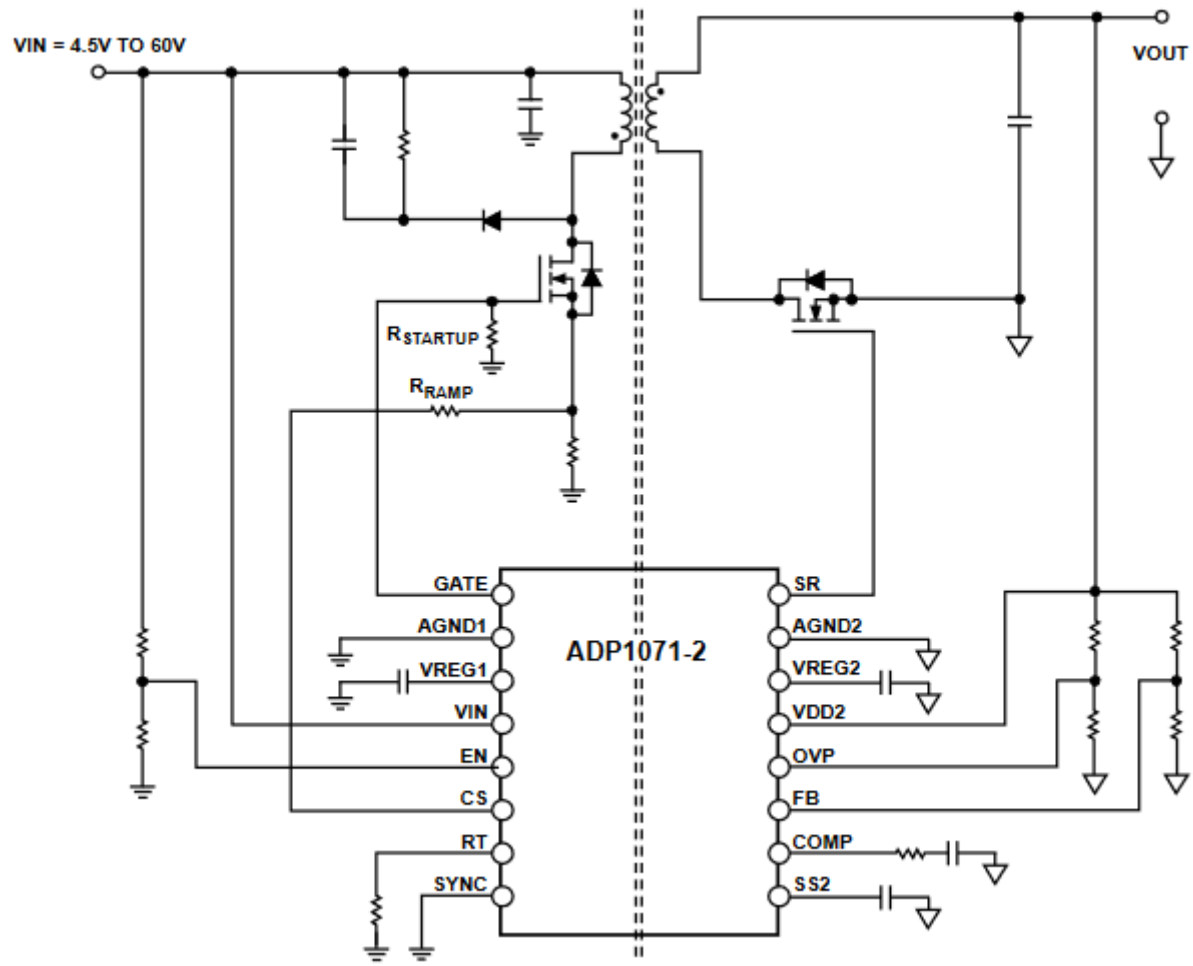


Abbildung 5.2: Flyback ADP1071-2

## 5.2 Simulation in Lt Spice

In der Abbildung[5.6] ist die Simulationsschaltung aufgebaut. Die Frequenz (Abb.[5.6] P1) wurde mit einem 80kOhm Widerstand auf 300kHz eingestellt (siehe Tabelle[5.1]). Die Frequenz ist abhängig von dem Transformator angegebene Arbeitsfrequenz.

Die berechneten Werte der Widerstände  $R_{SENSE}$  und  $R_{RAMP}$  (Abb.[5.6] P2) regeln die Anstiegszeit der Ausgangsspannung. In Abbildung[5.3] ist die Anstiegsrampe der geregelten Ausgangsspannung (grün) gut zu sehen, der Knick in der Rampe ist die Übergabe der Rampensteuerung von der primären auf die sekundäre Seite. Die rote Kennlinie ist der MOSFET auf der Sekundärseite, welcher die Spannung über den Transformator nachregelt.

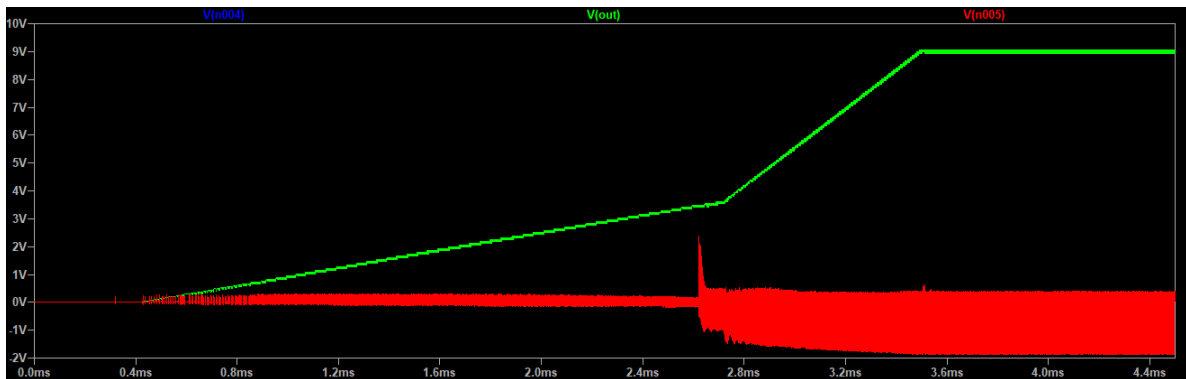


Abbildung 5.3: Spannungsanstiegsrampe

Die zurückgeführten Werte OPV (Abb.[5.6] P3) und FB (Abb.[5.6] P4) wurden mit einer Ausgangsspannung wert von 9.0V eingestellt, der OVP wurde auf eine Ausgangsspannung von 10V eingestellt und schalte bei der Spitzenspannung von 10V den IC-Regler ab. Wie der OVP eingreift, ist in Abbildung [5.4] zu sehen. Wird die OPV Spannung von 1.36V (türkis) Überschritten, bricht die Ausgangsspannung (grün), und die beiden MOSFET's auf Primär- (rot) und Sekundärseite (blau) zusammen.

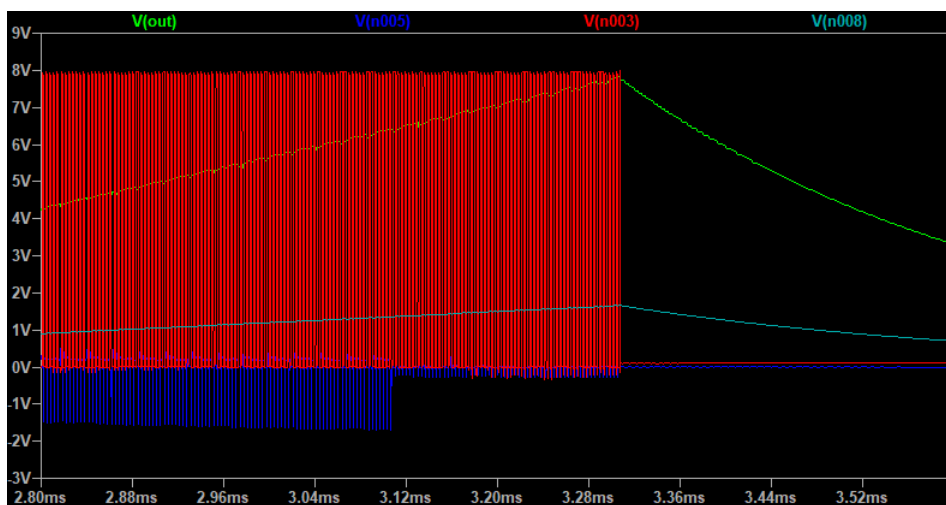


Abbildung 5.4: OPV Abschaltung

Die Ausgangsspannung (Abb.[5.6] P5) wird nach dem Transformator über einen Kondensator C5 mit 22 $\mu$ F geglättet, der auf der Abbildung [5.5] zu sehende Ripple könnte mit einem höheren Kondensator besser geglättet werden, jedoch ist die Anforderung im Ex "i" Kreis möglich kleine Kapazitäten und Induktivitäten .

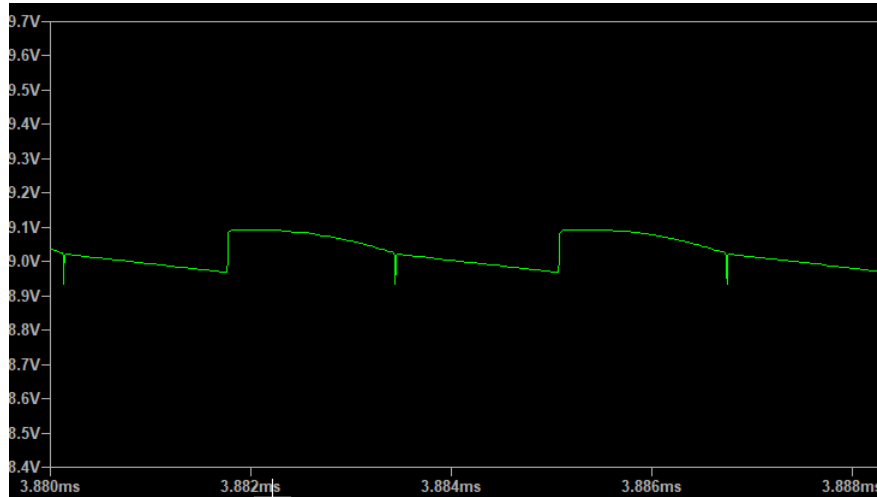


Abbildung 5.5:  $V_{OUT}$  Ripple

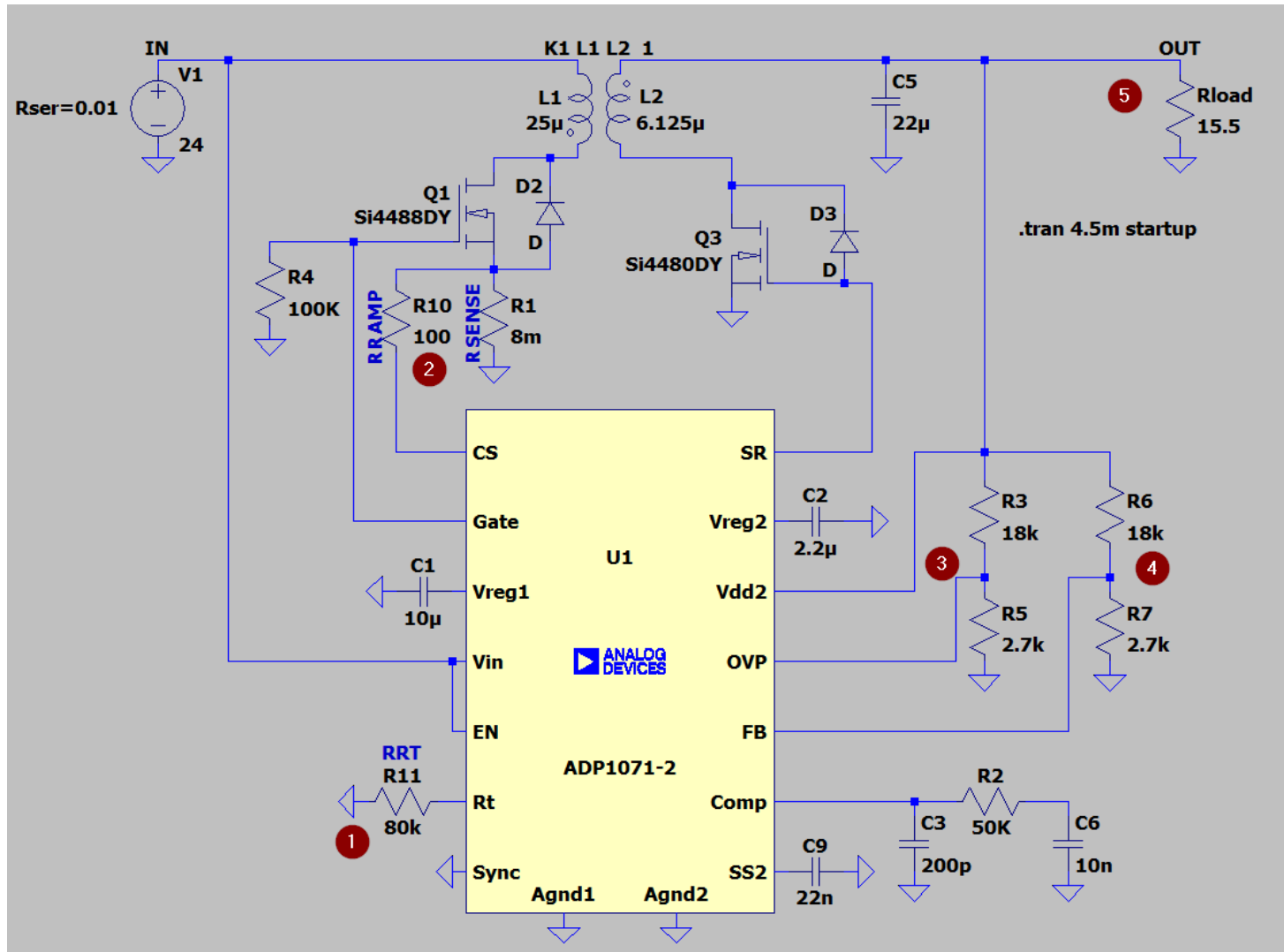


Abbildung 5.6: Simulation ADP1071-2

## 6 Schema und Layout Ex "i" Speisetrenner

Im folgende Kapitel wird die Umsetzung aus der Simulation, in ein Schema und Layout beschrieben sowie die Gewährleistung und Umsetzung der Eigensicherheit. Dabei wird auf die notwendigen Kriechstrecken, Trennabstände und Luftstrecken eingegangen, sowie die zulässige Auslastung von den einzelnen Bauteilen, welche sich im Ex "i" Kreis des Speisetrenners befinden.

### KiCad

Was ist KiCAD? KiCAD ist eine gratis Software zur Entwicklung von Leiterplatten. Wie bereits in der Projektarbeit im Fach Elektronik im 4 Semester, wurde auch die Ex "i" Speisetrenner Platine mit KiCAD gezeichnet und zu entwickelt.

### 6.1 Schema

In der Abbildung [6.1] ist das Schema der Ex "i" Speisetrenner Platine zu sehen. Auf der linken Seite ist die DC/DC Wandlung mit dem ADP1071-2 zu sehen, die Schaltung und Werte wurden aus der Simulation übernommen, wodurch nicht weiter darauf eingegangen wird (siehe Kapitel[5]). Die nicht simulierte Eigensichere Schaltung befindet sich auf der rechten Seite und wird über eine Lötbrücke von der DC/DC Wandlung getrennt. Zudem wurden noch Testpunkte TP eingefügt, welche bei der Inbetriebnahme das Anschliessen des Oszilloskop's erleichtern.

#### 6.1.1 Kennlinie und Bergrenzungsschaltung

Der eigensichere Stromkreis auf der Ausgangsseite des Ex "i" Speisetrenners wurde nach der linearen Kennlinie gebaut. Dabei handelt es sich in der im Kapitel [4.3.6] erwähnten linearen Kennlinie. Da die zuvor verwendete Ex i" Batterie ebenfalls mit einer linearen Kennlinie betrieben wurde. Die lineare Kennlinie setzt sich durch die Sicherung F1 für den Schutz der Dioden, den drei Z-Dioden D1, D2 und D3 zur Begrenzung der Leerlaufspannung  $U_0$  und den in Serie geschalteten Strom begrenzenden Widerstände R14 - R22 zusammen. Die Galvanische Trennung über den Transformator T1 dient ebenfalls der Sicherheit, reduziert Störsignale und verhindert eine Übertragung gefährlicher Überspannungen.

Da die Kommunikation mit dem Hersteller des Wiegesystems, sich eher schwierig gestaltete, wird im Rahmen der Diplomarbeit von den Outputwerten der Batterie ausgegangen. Die Berechnungen der Begrenzungsschaltung wurden kleiner oder gleich der Outputwerte der Batterie erstellt. Somit sollte eine künftige Zulassung für die Zusammenschaltung möglich sein.

#### Eckdaten Ex "i" Batterie

Eckdaten	Wert
Nennspannung	8 VDC
Nennstrom	256 mA
maximale Ausgangsspannung	$U_0 = 9.4$ VDC
maximaler Ausgangsstrom	$I_0 = 603$ mA
maximale Ausgangsleistung	$P_0 = 1.42$ W
maximale äußere Kapazität	$C_0 = 29$ $\mu$ F
maximale äußere Induktivität	$L_0 = 250$ $\mu$ H

Tabelle 6.1: Eckdaten

### Transformator

Der gewählte Transformator T1 (Würth Elektronik Herst. Nr. 750315882) ist ein Flyback Transformator und wurde speziell zu galvanischen Trennung von DC/DC Wandlungen entwickelt und kann mit einer Übertragungsfrequenz von bis zu 500kHz arbeiten. Ebenfalls ist die Induktivität des Transformators mit 22.7 uH bei einer 1:1 Übertragung gering, da die Werte der inneren Induktivität gering gehalten werden müssen. Siehe Datenblatt [A.2].

Die Ausgangsspannung wird mit einem 22uF Elektrolytkondensator geglättet.

### Schmelzsicherung

Die eingesetzte Schmelzsicherung F1 unterbricht bei einem zu hohen Strom durch die Z-Dioden, den Ex "i" Stromkreis und schützt die Z-Dioden des Speisetrenner vor der Zerstörung. Siehe Datenblatt [A.3].

### Z-Dioden

Die Z-Dioden D1 - D3 (Herst. Nr. 1N5333B) begrenzen die Leerlaufspannung  $U_0$  auf 9.14 V. Wenn die Ausgangsspannung von 9.14V überschritten wird, wird die Überspannung über die Z-Diode abgeleitet. Dadurch wird die Ausgangsspannung  $U_0$  von 9.14 V nie überschritten. Drei Dioden wurden eingesetzt, dass im Falle eines Fehlers in einer der Z-Diode, zwei weitere Dioden weiterhin die Eigensicherheit gewährleisten. Die Norm verlangt, dass bei einer Z-Diode ein möglicher Fehler berücksichtigt werden muss. Siehe Datenblatt [A.4].

### Strombegrenzende Widerstände

Für die Strombegrenzung des Ausgangsstromes  $I_0$  wurde der Strom begrenzende Widerstand  $R_i$  auf  $16\Omega$  festgelegt. Durch die Widerstandsbegrenzung liegt der maximale Ausgangsstrom  $I_0$  bei 571mA. Bei einer maximalen Leerlaufspannung  $U_0$  wird der Begrenzungs-Widerstand mit den folgenden Formeln [6.1] und [6.2] berechnet. Siehe Datenblatt [A.5].

$$I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{9.14V}{16\Omega} = 571mA \quad (6.1)$$

$$R_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{9.14V}{571mA} = 16\Omega \quad (6.2)$$

Der gewählte Widerstand R hat eine Nennleistung von 2W. Um die 2/3 Auslastung zu gewährleisten wurde der Widerstand 3x in Serie und 3x parallel geschaltet, wodurch über ein Ersatzschaltbild der Widerstandswert von  $16\Omega$  gleich bleibt. Über die drei Paralleltränge wird der Strom von 571mA unterteilt, wodurch die Leistung besser verteilt wird und eine 2/3 Auslastung eingehalten werden kann.

$$P_R = R_{ges} * \frac{1}{3} I^2 = 16\Omega * 190mA^2 = 578mW \quad (6.3)$$

Die mögliche Auslastung des Widerstands:

$$Auslastung = 2W * 2/3 = 1.33W \quad (6.4)$$

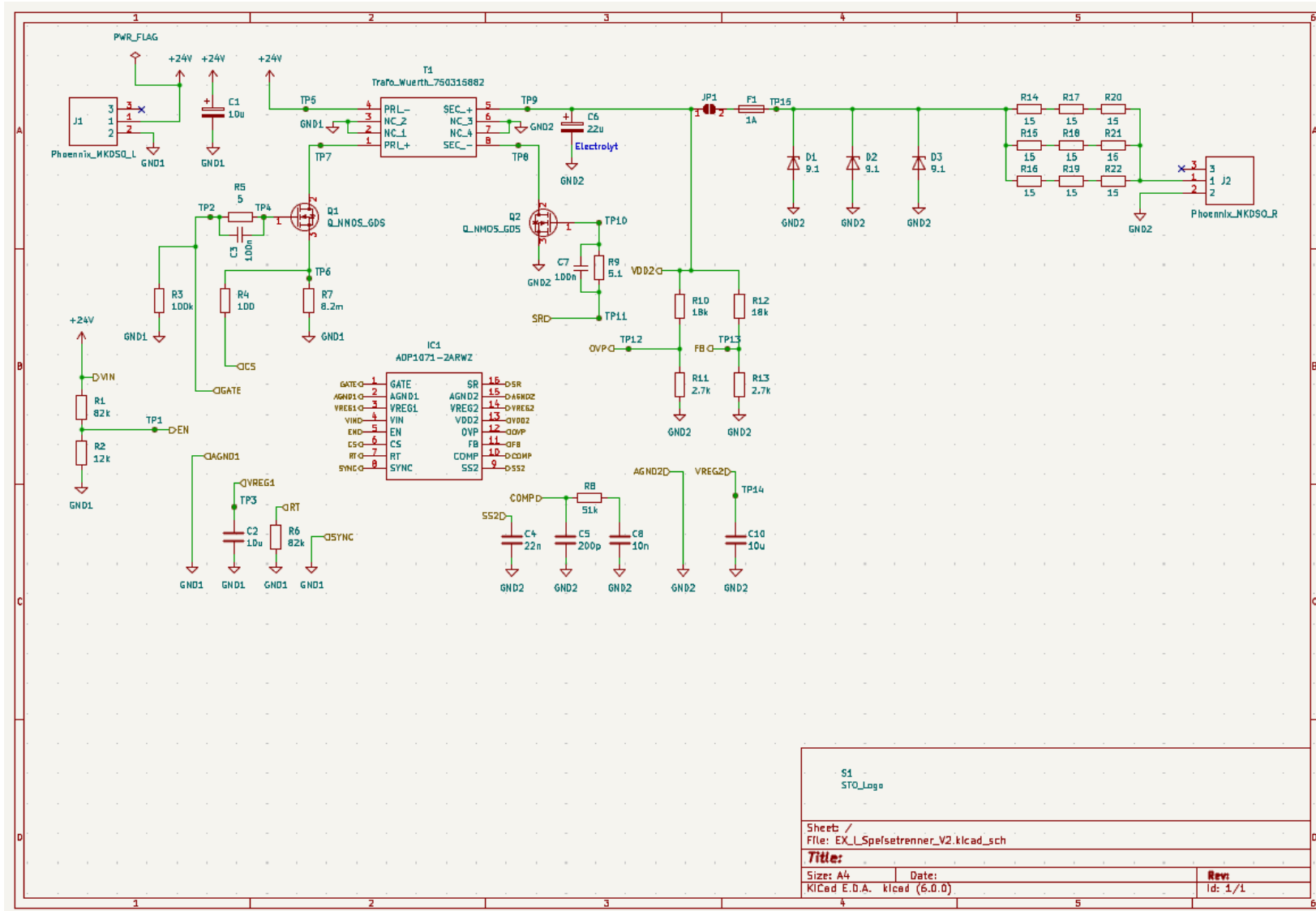


Abbildung 6.1: KiCAD Schema

## 6.2 Layout

Nach dem Zeichnen des Schemas und der Zuweisung der Bauteile wurde das Layout erstellt. In diesem Kapitel wird auf die Unterteilung der nicht eigensicheren und eigensicheren Stromkreise eingegangen. Wo und wie sie getrennt werden und auf welche Eigenschaften im eigensicheren Stromkreis geachtet werden muss, damit die Eigensicherheit gewährleistet wird.

### 6.2.1 Gesamtübersicht und Lagenaufbau

Anhand der Abbildung [6.2] wird der Aufbau und die verwendeten Lagen erklärt. Auf der linken Seite der Leiterplatte befindet sich die Eingangsspannung  $U_M$  der Maschine. Da werden die 24V der Fahrzeugbatterie nach dem Schlüsselschalter auf den Ex "i" Speisetrenner eingespeist. In der Mitte der Leiterplatte wurde mittels Silkscreen eine gestrichelte Linie gezeichnet, die nicht eigensichere Seite von der eigensicheren Seite visuell abgrenzt. Auf der rechten Seite oben ist die eigentliche eigensichere Schaltung mit den in Kapitel[6.1.1] beschriebenen Sicherungen, Dioden und Widerstände. Auf dem Stecker J2 links oben wird das Wiegesystem angeschlossen, welches durch die Eigensicher Spannung das versorgt werden soll.

#### Kupferlagen und Planes

Eingangsseitig befindet sich eine in rot gefärbte 24V Versorgung auf der Frontseite (Oberseite) und eine grüne Bottomfläche, mit GND, auf der Unterseite der Leiterplatte. Die kleinen Flächen auf der Front sind eigene Stromkreise vom Gate Ausgang des ADP1071-2.

Auf der galvanisch getrennten Ausgangsseite rechts wurde nur ein GND2 Fläche auf der Bottomfläche gezeichnet. Auf der Front befinden sich nur kleine Planes(kupferflächen) von zusammengehörigen Stromkreisen.



Abbildung 6.2: Aufbau und Lagen

### 6.2.2 Nicht Eigensicherer Stromkreis

Im nicht eigensicheren Stromkreis in Abbildung [6.3] müssen die Luft und Kriechstrecken aus der Tabelle 5 der Norm EN 60079-11 nicht eingehalten werden. In Abbildung [4.6] "Beispiel für die Trennung von leitfähigen Teilen" ist definiert, dass für die nicht eigensicheren Stromkreise, die Abstände der allgemeinen Industrienorm gelten.



Abbildung 6.3: Nicht eigensicher Stromkreis

### 6.3 Galvanische Trennung

Über den Transformator T1 und den Flyback-Wandler IC1 in der Abbildung [6.4] wird der nicht eigensichere Kreis vom eigensicheren Stromkreis voneinander isoliert. Zwischen den Kupferflächen wurde ein Trennabstand von 3mm berücksichtigt, da in der Simulation eine Spannung von 36V Peak primär und 33V Peak sekundär über den Spulen des Transformators gemessen wurde. In der Tabelle 5 Abbildung[4.5] aus der Norm wird bei einem Spannungswert über 30 V die Trennabstände der Spannung  $\leq 60$  V geltend welche eine Kriechstrecke von 3mm verlangt. Dieser Wert könnte durch eine genormte Schutzschicht oder Vergussmasse auf 1mm verkleinert werden. In Kapitel [4.3.7] werden die möglichen Massnahmen beschrieben.

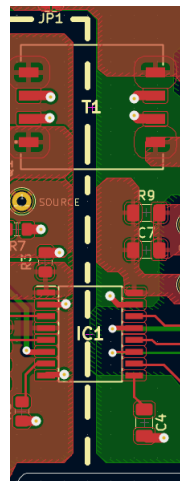


Abbildung 6.4: Galvanische Trennung



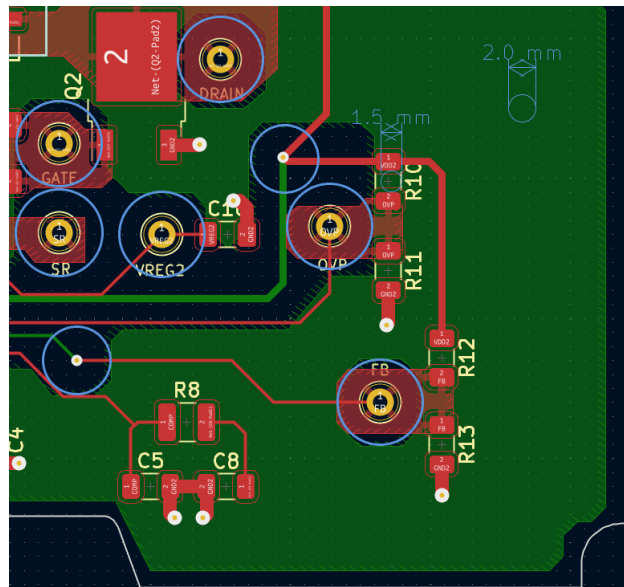


Abbildung 6.6: Kriechstrecken Prüfung

### 6.4.3 Eigensichere Ausgangschaltung

Im letzten Teil auf der Eigensicheren Schaltung wurde die isolierte Spannung vom DC/DC Wandler von der eigentlichen Sicherheitsbeschaltung über eine Lötbrücke getrennt. Die Lötbrücke wurde eingesetzt, damit bei der Prüfung die DC/DC Schaltung einzeln geprüft werden kann, siehe Abbildung [6.7]

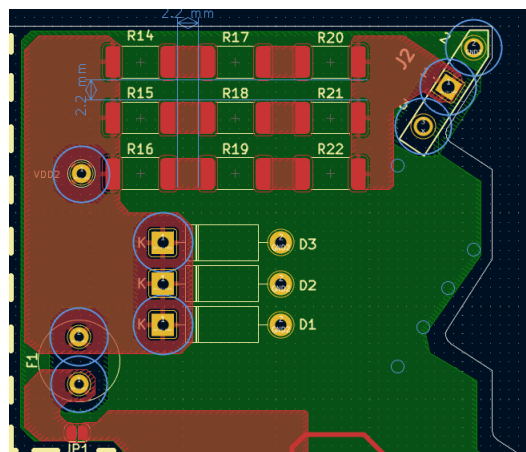


Abbildung 6.7: Eigensichere Ausgangschaltung



## 7.1 Auflistung Gehäuse und Zubehör

Die benötigten Artikel für das Phoenix Leergehäuse ME MAX 17,5 und die passenden Zubehörtteile wie Stecker und Blindstopfen sind folgende Artikel.

### ME MAX 17,5 :

- Elektronikgehäuse - ME MAX 17,5 KMGY 2713609
- Linker Stecker (Schwarz)
  - Leiterplatten-Grundleiste - MSTBO L 2200328 (gelb)
  - Leiterplattensteckverbinder - MSTBT L 2200333 (rot)
- Rechter Stecker (Ex "i" Blau)
  - Leiterplatten-Grundleiste - MSTBO R 2200329 (gelb)
  - Leiterplattensteckverbinder - MSTBT R 2200333 (rot)
- Blindstopfen - ME MAX B-17,5 BU 2890153
- Blindstopfen - ME MAX B-17,5 BK 2201267

## 8 Anpassungen

### 8.1 Transformers Aufsatzplatine

Der ursprünglich gewählte Transformator T1, welcher im Kapitel [6] beschrieben wurde, konnte nicht mehr geliefert werden. Die Platine war bereits bestellt und eine schnelle Alternative wurde nicht gefunden. Für den Ersatztrafo, welcher für den ursprünglich gewählte Trafo eingesetzt wurde, musste eine Aufsatzplatine gezeichnet werden, siehe Abbildung [8.1]. Die Aufsatzplatine wurde passend für den Footprint des alten Transformators gezeichnet und kann mittel half-hole (Aufgetrennte Durchkontaktierung) aufgelötet werden.

Im Bild links ist das Layout der Aufsatzplatine zu sehen, über die Half-hole Montage wird der Pin 1 mit J4 verbunden, Pin4 mit J2, Pin 5 mit J3 und Pin 8 mit J4. In der Mitte ist die Überlappung zwischen dem Footprint des ersten Transformators und der Aufsatzplatine zu sehen. Auf dem Bild rechts das 3D Model der Aufsatzplatine.

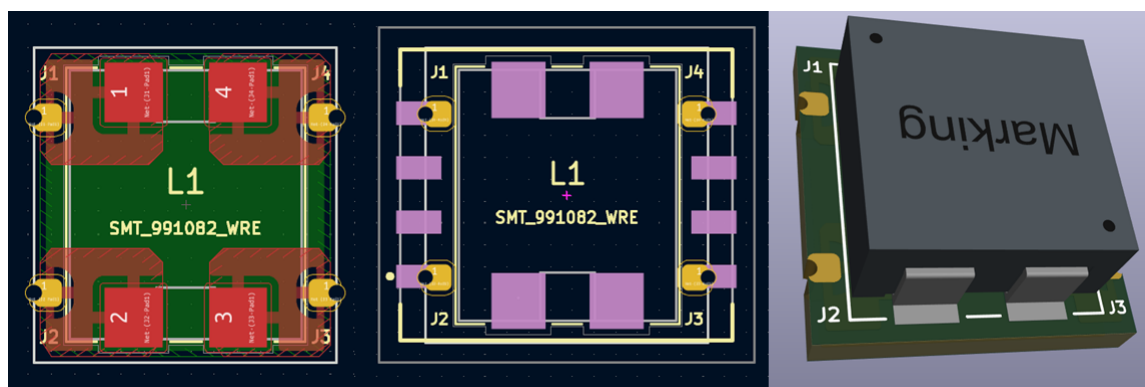


Abbildung 8.1: Aufsatzleiterplatte

## 9 Auflöten und Inbetriebnahme

Die für die Schaltung verwendeten Bauteile wurden von Hand auf die entwickelte Leiterplatte aufgelötet. Aufgrund von Lieferverzögerungen konnten die Inbetriebnahme und Validation nicht durchgeführt werden. Jedoch wurde das Inbetriebnahmeprotokoll (siehe Abb. [9.1]) erstellt, sodass bei Erhalt der Bauteile die Funktionsfähigkeit des Speisetrenners überprüft werden kann.

Anhand der Simulationswerte kann von einem funktionsfähigen Speisetrenner ausgegangen werden.

### 9.1 Erläuterung Inbetriebnahmeprotokoll

Das Inbetriebnahmeprotokoll dient zur Festlegung einer strukturierten Prüfung der elektronischen Schaltung. Die Vorgehensweisen bei der Prüfung wurden in eine Vorinbetriebnahme, Versorgungsspannung und einen Funktionstest unterteilt. Auf dem Inbetriebnahmeprotokoll sind die Messpunkte Soll ist werte angegeben und einzutragen. Das zugehörige Messmittel wurde als Bedingung angegeben. Die im Funktionstest gemessenen Messwerte werden mit den Simulationswerten von Kapitel [5.2] verglichen.

### 9.2 notwendige Bauteile

Für die Inbetriebnahme wären die folgenden Bauteile der Abbildung[9.2] und Abbildung [9.3] erforderlich gewesen. Auf den Abbildungen sind Ausschnitte aus der Sonderbedarfsstellung der Firmensoftware PSIPenta.

Die Abbildung [9.2] zeigt den benötigten Transformator Pos.26 für die Inbetriebnahme der Teilschaltung der galvanisch getrennten Spannungswandlung. Der Liefertermin wurde von Bauteillieferanten Firma Mouser AG der 06.09.2022 angegeben. Für die Strom begrenzenden Widerstände Pos. 10 hatte Mouser AG wurde der Liefertermin ebenfalls am 06.09.2022 angegeben.

Die Abbildung [9.3], Bestellposition 3 ist der Stecker für den Spannungsausgang des eigensicheren Kreis, auch dieser wurde von Mouser auf den 13.09.2022 bestätigt. Die von Phoenix Kontakt angefragten Stecke für Lund recht sind auch nicht eingetroffen.

## Inbetriebnahmeprotokoll Ex "i" Speisetrenner

### Vorinbetriebnahme

Ablauf	Gemessen:	Soll:	Ist:	Messpunkt 1:	Messpunkt 2:	Bedingungen:
1	Sichtkontrolle Lötstellen	"Saubere" Lötstellen				gereinigt
2	Sichtkontrolle Bauteile	"Saubere" Bauteile				gereinigt
3	Kurzschlussmessung Leiterplatte Primär	inf.		VIN	GND1	-
4	Kurzschlussmessung Leiterplatte Sekundär	inf.		Vout	GND2	-

### Versorgungsspannung

Ablauf	Gemessen:	Soll:	Ist:	Messpunkt 1:	Messpunkt 2:	Bedingungen:
5	24V	24 V		TP 5	GND1	Multimeter
6	Speisung VIN ADP1071-2	24V		VIN	GND1	Multimeter
7	Speisung EN ADP1071-2	min. 1.2V		TP 1	GND1	Multimeter

### Funktionstest:

Ablauf	Gemessen:	Soll:	Ist:	Messpunkt 1:	Messpunkt 2:	Bedingungen:
8	Spannung GATE ADP1071-2	8V Rechteck		TP 2	GND1	Oszilloskop
9	Spannung GATE Gate			TP 4	GND1	Oszilloskop
10	Spannung GATE Drain			TP 7	GND1	Oszilloskop
11	Spannung SR ADP1071-2	5V Rechteck		TP 11	GND2	Oszilloskop
12	Spannung SR Gate			TP 10	GND2	Oszilloskop
13	Spannung SR Drain			TP 8	GND2	Oszilloskop
14	Spannung über L1			TP 5	TP 7	Oszilloskop
15	Spannung über L2			TP 9	TP 8	Oszilloskop
16	Vout	9.0V		TP9	GND2	Oszilloskop (J2)
17	Anstiegsrampe Vout	Sichtbare Anstiegsrampe		J2		Oszilloskop (J2)

Die mit dem Oszilloskop gemessenen Werte werden mit den Simulationswerten von Lt Spice verglichen

Abbildung 9.1: Inbetriebnahmeprotokoll

Anf. Typ	Anforderungs-Nr	Pos. Nr	Bestellart	Bestelltyp	Konto	Kostenart	Anf.-Status	Bearbeiter	Bearbeiter 2	Disponent 4	Lieferanten-Nr	Lieferantenname	Straße	Ort	Bed. Termi	DLZ	Anford-Datum	Korr-Datum	Über	
1	Bestell-...	00005246	10	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
2	Bestell-...	00005246	20	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
3	Bestell-...	00005246	30	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
4	Bestell-...	00005246	40	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
5	Bestell-...	00005246	50	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	32304	Digi-Key Electro...	P.O.Box	A...	06.09.22	0.00	05.09.22	08.09.22	
6	Bestell-...	00005246	60	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
7	Bestell-...	00005246	70	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	32304	Digi-Key Electro...	P.O.Box	A...	06.09.22	0.00	05.09.22	08.09.22	
8	Bestell-...	00005246	80	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
9	Bestell-...	00005246	90	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
10	Bestell-...	00005246	100	Normalbest.	Normal	12010	1040010	bestellt	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	15.09.22	
11	Bestell-...	00005246	110	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
12	Bestell-...	00005246	120	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
13	Bestell-...	00005246	130	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
14	Bestell-...	00005246	140	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	32304	Digi-Key Electro...	P.O.Box	A...	06.09.22	0.00	05.09.22	08.09.22	
15	Bestell-...	00005246	150	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
16	Bestell-...	00005246	160	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
17	Bestell-...	00005246	170	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
18	Bestell-...	00005246	180	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
19	Bestell-...	00005246	190	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
20	Bestell-...	00005246	200	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
21	Bestell-...	00005246	210	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
22	Bestell-...	00005246	220	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
23	Bestell-...	00005246	230	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
24	Bestell-...	00005246	240	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
25	Bestell-...	00005246	250	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	05.09.22	13.09.22	
26	Bestell-...	00005246	260	Normalbest.	Normal	12010	1040010	bestellt	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	06.09.22	0.00	06.09.22	06.09.22	

Abbildung 9.2: Sonderbedarf Bauteile




Anf. Typ	Anforderungs-Nr	Pos. Nr	Bestellart	Bestelltyp	Konto	Kostenart	Anf.-Status	Bearbeiter	Bearbeiter 2	Disponent 4	Lieferanten-Nr	Lieferantenname	Straße	Ort	Bed. Termi	DLZ	Anford-Datum	Korr-Datum	Über	
1	Bestell-...	00004903	10	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	14.09.22	0.00	13.09.22	20.09.22	
2	Bestell-...	00004903	20	Normalbest.	Normal	12010	1040010	geliefert	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	14.09.22	0.00	13.09.22	16.09.22	
3	Bestell-...	00004903	30	Normalbest.	Normal	12010	1040010	bestellt	mathias.h...	mathias.hae...	326	4152	Mouser Electronics	Gang...	M...	14.09.22	0.00	13.09.22	13.09.22	

Abbildung 9.3: Sonderbedarf Stecker

### Verfügbarkeit

Bei den oben genannten Bauteile von der Firma Mouser sollten die Artikel sofort bestellbar und auf Lager liegen. Siehe Bilder[9.4/9.5/9.6].

**7448991082**

Bilder dienen lediglich der Veranschaulichung und sind nicht Originalgetreu  
Siehe Produktspezifikationen

[Teilen](#)

Mouser-Nr.:	710-7448991082
Herst.- Nr.:	7448991082
Herst.:	Wurth Elektronik
Kunden-Teilenr.:	<input type="text" value="Kunden-Teilenr"/>
Beschreibung:	Gekoppelte Induktivitäten WE-MCRI 8.2uH 20% 4.7A <b>REDEXPERT™</b> Wechselstromverluste in RedExpert simulieren?
Datenblatt:	<a href="#">7448991082 Datenblatt (PDF)</a>
ECAD Model:	<a href="#">Fordern Sie kostenlose CAD</a>
Mehr über	<a href="#">Weitere Informationen zu Wurth Elektronik 7448991082</a>

**Auf Lager: 669**

Lagerbestand: 669 sofort lieferbar

Minimum: 1 Vielfache: 1

Menge eingeben:  [Kaufen](#)




**Preis (CHF)**

Menge	Stückpreis	Erw. Preis
<b>Gurtabschnitt / MouseReel™ †</b>		
1	CHF 3.68	CHF 3.68
10	CHF 3.26	CHF 32.60
50	CHF 2.79	CHF 139.50
100	CHF 2.55	CHF 255.00
500	CHF 2.32	CHF 1 160.00
<b>Ganzes Reel (Sie bestellen ein Vielfaches von 800)</b>		
800	CHF 2.31	CHF 1 848.00

† Für die MouseReel™ wird Ihrem Warenkorb automatisch eine Gebühr von CHF 7.00 hinzugefügt. MouseReel™ Bestellungen sind weder stornierbar, noch können sie zurückgegeben werden. ↩

Abbildung 9.4: Transformator

**352116RFT**

Bilder dienen lediglich der Veranschaulichung und sind nicht Originalgetreu  
Siehe Produktspezifikationen

[Teilen](#)

Mouser-Nr.:	279-352116RFT
Herst.- Nr.:	352116RFT
Herst.:	TE Connectivity / Holsworthy
Kunden-Teilenr.:	<input type="text" value="Kunden-Teilenr"/>
Beschreibung:	Thick Film Resistors 3521 16R 1% 2W
Datenblatt:	<a href="#">352116RFT Datenblatt (PDF)</a>
ECAD Model:	<a href="#">PCB-Symbol, Footprint und 3D-Modell</a>
Mehr über	<a href="#">Den kostenlosen Library Loader herunterladen, um diese Datei für Ihr ECAD Tool zu konvertieren. Weitere Infos zu ECAD-Modell.</a>

Produkt vergleichen [Zum Projekt hinzufügen](#) | [Kennzeichen hinzufügen](#)

**Auf Lager: 24 554**

Lagerbestand: 24 554 sofort lieferbar

Lieferzeit ab Hersteller: 16 Wochen ?

Minimum: 1 Vielfache: 1




Menge eingeben:  [Kaufen](#)

**Preis (CHF)**

Menge	Stückpreis	Erw. Preis
<b>Gurtabschnitt / MouseReel™ †</b>		
1	CHF 0.614	CHF 0.61
10	CHF 0.512	CHF 5.12
100	CHF 0.344	CHF 34.40
500	CHF 0.286	CHF 143.00
1 000	CHF 0.201	CHF 201.00
<b>Ganzes Reel (Sie bestellen ein Vielfaches von 4000)</b>		
4 000	CHF 0.192	CHF 768.00
8 000	CHF 0.173	CHF 1 384.00

Abbildung 9.5: Strom begrenzen Widerstände

**2200329**

Bilder dienen lediglich der Veranschaulichung und sind nicht Originalgetreu  
Siehe Produktspezifikationen

[Teilen](#)

Mouser-Nr.:	651-2200329
Herst.- Nr.:	2200329
Herst.:	Phoenix Contact
Kunden-Teilenr.:	<input type="text" value="Kunden-Teilenr"/>
Beschreibung:	Steckbare Anschlussblöcke MSTBO 2 5/ 3-G1PR GY7035
Datenblatt:	<a href="#">2200329 Datenblatt</a>
ECAD Model:	<a href="#">PCB-Symbol, Footprint und 3D-Modell</a>
Mehr über	<a href="#">Den kostenlosen Library Loader herunterladen, um diese Datei für Ihr ECAD Tool zu konvertieren. Weitere Infos zu ECAD-Modell.</a>

Produkt vergleichen [Zum Projekt hinzufügen](#) | [Kennzeichen hinzufügen](#)

**Auf Lager: 4**

Lagerbestand: 4 sofort lieferbar

Lieferzeit ab Hersteller: 3 Wochen ?

Minimum: 1 Vielfache: 1

Menge eingeben:  [Kaufen](#)

**Preis (CHF)**

Menge	Stückpreis	Erw. Preis
1	CHF 3.42	CHF 3.42
10	CHF 3.33	CHF 33.30
25	CHF 3.25	CHF 81.25
50	CHF 3.11	CHF 155.50
100	CHF 2.85	CHF 285.00
250	CHF 2.63	CHF 657.50
500	CHF 2.51	CHF 1 255.00
1 000	CHF 2.36	CHF 2 360.00
2 500	CHF 2.24	CHF 5 600.00

Abbildung 9.6: Leiterplatten Stecker rechts



## 11 Schlussbemerkung

Dieses Kapitel enthält letzte Bemerkungen zur abgeschlossenen Diplomarbeit und zeigt mögliche Ansätze und Verbesserungen auf. Die im Pflichtenheft gestellten Ziele konnten nicht alle erreicht werden. Wegen Lieferverzögerungen konnte leider weder die Inbetriebnahme gemacht noch die Tests mit dem Einbau in das Flurförderzeug EXI16. Im Pflichtenheft war ein 2-Kanaliger Ausgang vorgesehen, aus Zeitgründen, mit der Gestaltung des Layout wurde auf einen Zweiten 9V Ausgang verzichtet. Nicht alles lief immer nach Plan, aber es lief auch nicht alles schlecht, für viele Probleme wurde eine gute Lösung oder Alternative gefunden. Die Diplomarbeit hat mir sehr viel Spass gemacht, ich konnte viel über den Explosionsschutz und insbesondere über die Zündschutzart Eigensicherheit "i". Auch der Schaltungsaufbau einer galvanisch getrennten Spannungswandlung war eine sehr spannende Herausforderung. Zudem konnten gute Kontakte mit Lieferanten geknüpft werden und Spezialisten aus dem Ex-Bereich kennengelernt werden.

Zum Schluss soll die Möglichkeit genutzt werden, dem Auftraggeber Ruedi Wenk und den internen Betreuern (Backhaus Jörg, Heimann Florian) für die umfangreiche fachliche Unterstützung, zu bedanken. Sowie der Firma Stöcklin Logistik AG, für die Möglichkeit eine Diplomarbeit für und in der Firma zu entwickeln.

## Quellenverzeichnis

- [1] Dr.-Ing. Hans-Jürgen Linström. „Grundlagen Explosionsschutz“. (1. Sep. 2022), Adresse: <https://www.bartec.de/de/downloads/safety-academy/grundlagen-elektrischer-explosionsschutz.pdf>.
- [2] J. Backhaus, *Welcome in the ATEX Zone 2022*. Stöcklin Logistik AG, Laufen, 7. Juli 2022.
- [3] CENCLEC, *Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit i*“. EN 60079-11, Kapitel 3.13, 10. Aug. 2022.
- [4] W. Gohm, *Seminar: Zündschutzart Eigensicherheit Ex-i*. Extronic Gohm consulting, Baden-Baden, 15. Juli 2022.
- [5] CENCLEC, *Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit i*“. EN 60079-11, Tabelle 5, 4. Sep. 2022.
- [6] CENCLEC, *Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit i*“. EN 60079-11, Kapitel 7, 24. Aug. 2022.
- [7] W. Gohm, *Explosionsschutz in der MSR-Technik*. VDE Verlag, 25. Aug. 2022.
- [8] CENCLEC, *Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit i*“. EN 60079-11, Anhang F, 13. Sep. 2022.
- [9] CENCLEC, *Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit i*“. EN 60079-11, Kapitel 6.3.9, 13. Sep. 2022.
- [10] Analog Devices. „ADP1071-2ARWZ“. (12. Aug. 2022), Adresse: [https://www.mouser.ch/datasheet/2/609/ADP1071\\_1\\_1071\\_2-2955738.pdf](https://www.mouser.ch/datasheet/2/609/ADP1071_1_1071_2-2955738.pdf).

## **Ehrlichkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Diplomarbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst zu haben. Die wörtlich oder inhaltlich aus den aufgeführten Quellen entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht.

Diese Diplomarbeit wurde auf dem Onlineportal der TEKO-Webseite veröffentlicht.

Laufen, 26. September 2022

**Name:** Mathias Hägeli

**Unterschrift:**

**A Anhang**



## FEATURES

- Current mode controller for flyback topology
- ADP1071-1: programmable LLM or CCM for high  $V_{IN}$  applications
- ADP1071-2: forced CCM operation
- Programmable slope compensation
- Integrated 5 kV isolation (wide body SOIC package) or 3.0 kV (LGA package) rated dielectric isolation voltage with Analog Devices, Inc., patented *iCoupler* technology
- Wide voltage supply range
  - Primary  $V_{DD}$ : up to 60 V (ADP1071-2 only)
  - Secondary  $V_{DD2}$ : up to 36 V
- Integrated 1 A primary side MOSFET driver
- Integrated 1 A secondary side MOSFET drivers for synchronous rectification
- Integrated error amplifier and <1% accurate reference voltage
- Programmable frequency range: 50 kHz to 600 kHz
- Duty cycle clamp limit 85%
- Programmable soft start and soft start from precharged load
- Protection features such as short circuit, output overvoltage, and overtemperature protection
- Power saving LLM using MODE pin (ADP1071-1 only)
- Cycle by cycle input overcurrent protection
- Precision enable UVLO with hysteresis
- Frequency synchronization
- [Safety and regulatory approvals](#) (pending)
- UL recognition
  - 5000 V rms for 1 minute per UL 1577 (for wide body SOIC package)
  - 3000 V rms for 1 minute per UL 1577 (for LGA package)
- CSA Component Acceptance Notice 5A
- VDE certificate of conformity
  - DIN V VDE V 0884-10 (VDEV 0884-10):2006-12
  - $V_{IORM} = 849$  V peak (for wide body SOIC package)
  - $V_{IORM} = 565$  V peak (for LGA package)
- CQC certification per GB4943.1-2011
- Available in 16-lead SOIC\_W package and 24 terminal LGA package

## APPLICATIONS

- Isolated dc-to-dc or ac-to-dc power conversion
- Telecom, industrial
- Small cell
- PoE powered device
- Enterprise switches and routers

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

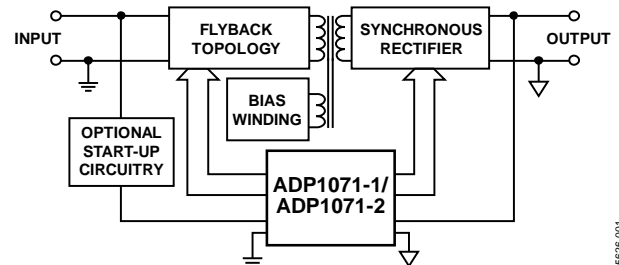


Figure 1.

## GENERAL DESCRIPTION

The ADP1071-1/ADP1071-2 are pulse-width modulation (PWM) current mode fixed frequency synchronous flyback controllers designed for isolated dc-to-dc power supplies. Analog Devices proprietary *iCouplers*® are integrated in the ADP1071-1/ADP1071-2 to eliminate the bulky signal transformers and optocouplers that transmit signals over the isolation boundary. Integrating the *iCouplers* reduces system design complexity, cost, and component count and improves overall system reliability. With the integrated isolators and metal-oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET) drivers on both the primary and the secondary side, the ADP1071-1/ADP1071-2 offer a compact system level design and yield a higher efficiency than a diode rectified flyback converter at heavy loads.

Output regulation is achieved by sensing the output voltage on the secondary side, where the feedback and the PWM signals are transmitted between the primary and secondary sides through the *iCouplers*.

The ADP1071-1/ADP1071-2 are offered in a 16-lead SOIC\_W package with an isolation voltage rating of 5 kV rms. The ADP1071-2 is designed for isolated dc-to-dc applications typically with an input voltage less than 36 V, and the ADP1071-1 targets high input voltage applications, in which the dc input voltage can exceed 60 V.

The ADP1071-1/ADP1071-2 offer features such as input current protection, output overvoltage protection (OVP), undervoltage lockout (UVLO), precision enable with adjustable hysteresis, overtemperature protection (OTP), and power saving light load mode (LLM).

**TABLE OF CONTENTS**

Features .....	1	Temperature Sensing .....	19
Applications.....	1	Frequency Setting (RT Pin) .....	19
Functional Block Diagram .....	1	Maximum Duty Cycle .....	19
General Description .....	1	Frequency Synchronization .....	19
Revision History .....	2	Synchronous Rectifier (SR) Driver .....	20
Specifications.....	3	Output Overvoltage Protection (OVP).....	20
Insulation and Safety Related Specifications .....	6	SR Dead Time .....	20
Regulatory Information.....	7	Light Load Mode (LLM) and Continuous Conduction Mode (CCM).....	20
Absolute Maximum Ratings.....	8	Soft Stop.....	21
Thermal Resistance.....	8	OCP/Feedback Recovery .....	21
ESD Caution.....	8	Output Voltage Tracking .....	21
Pin Configurations and Function Descriptions .....	9	Remote System Reset .....	21
Typical Performance Characteristics .....	12	OCP Counter .....	22
Theory of Operation .....	14	External Start-Up Circuit .....	23
Detailed Block Diagram .....	15	Insulation Lifetime.....	23
Primary Side Supply, Input Voltage, and LDO.....	16	Layout Guidelines.....	24
Secondary Side Supply and LDO .....	16	Applications Information .....	25
Precision Enable .....	16	Typical Application Circuits .....	25
Soft Start Procedure .....	17	Outline Dimensions .....	26
Output Voltage Sensing and Feedback.....	18	Ordering Guide .....	27
Loop Compensation and Steady State Operation .....	18		
Slope Compensation .....	18		
Input/Output Current-Limit Protection.....	18		

**REVISION HISTORY****4/2019—Rev. A to Rev. B**

Added 44-Terminal LGA Section.....	Universal
Changes to Features Section.....	1
Changes to Table 2.....	6
Change to Regulatory Information Section .....	7
Added Table 3 Title and Table 4; Renumbered Sequentially .....	7
Changes to Table 6 and Table 7.....	8
Added Table 8.....	8
Change to Figure 2 Caption, Figure 3 Caption, and Table 9 Title .....	9
Added Figure 4; Renumbered Sequentially, Figure 5, and Table 10 .....	10
Changes to Insulation Lifetime Section.....	23
Updated Outline Dimensions .....	26
Changes to Ordering Guide .....	27

**11/2018—Rev. 0 to Rev. A**

Changes to Frequency Setting (RT Pin) Section .....	17
---	----

**9/2018—Revision 0: Initial Version**

## SPECIFICATIONS

ADP1071-1: VREG1 = 9 V, VDD2 = 12 V, T<sub>A</sub> = -40°C to +125°C, unless otherwise noted. ADP1071-2: VIN = 24 V, VDD2 = 12 V, T<sub>A</sub> = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
<b>ADP1071-1 SUPPLY (PRIMARY)</b>						
Supply Voltage	V <sub>REG1</sub>	1 μF capacitor from VREG1 to AGND1	4.7	8	12.5	V
Quiescent Supply Current	I <sub>VREG1</sub>	VREG1 > VREG1 UVLO, GATE pin unloaded				
		At 100 kHz		3.8		mA
		At 300 kHz		4.6		mA
VREG1 Start-Up Current	I <sub>VREG1</sub>	At 600 kHz		6.8		mA
		VREG1 > VREG1 UVLO, GATE pin loaded with 2.2 nF				
		At 100 kHz		5.5		mA
VREG1 UVLO	I <sub>VREG1_STARTUP</sub>	At 300 kHz		10		mA
		At 600 kHz		16.6		mA
		V <sub>EN</sub> < 1.2 V			160	μA
UVLO Hysteresis		VREG1 rising	4		4.7	V
		VREG1 falling		0.19		V
<b>ADP1071-2 SUPPLY (PRIMARY)</b>						
Supply Voltage	V <sub>IN</sub>	4.7 μF capacitor from VIN to AGND1, 1 μF capacitor from VREG1 to AGND1	4.7	24	60	V
Quiescent Supply Current	I <sub>VIN</sub>	VIN > VIN UVLO, GATE pin unloaded				
		At 100 kHz		3.8		mA
		At 300 kHz		4.4		mA
VIN Shutdown Current	I <sub>VIN</sub>	At 600 kHz		6.8		mA
		VIN > VIN UVLO, GATE pin loaded with 2.2 nF				
		At 100 kHz		5.5		mA
VIN and VREG1 Start-Up Current	I <sub>VIN_STARTUP</sub>	At 300 kHz		11		mA
		At 600 kHz		22		mA
		EN pin voltage (V <sub>EN</sub> ) < 1.2 V, VREG1 = 0 V, VIN = 60 V			55	μA
VIN UVLO		V <sub>EN</sub> < 1.2 V, VREG1 = 12 V, VIN = 12 V			160	μA
		VIN rising			4.7	V
UVLO Hysteresis		VIN falling	4			V
				0.19		V
<b>SWITCHING TIME</b>						
Time from EN High to GATE Output Switching		V <sub>EN</sub> > 1.2 V, 1 μF capacitor on VREG1		1		ms
Time from EN Low to GATE Output Stops Switching		V <sub>EN</sub> < 1.0 V, 1 μF capacitor on VREG1		1		μs

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit	
<b>SUPPLY (SECONDARY)</b>							
Supply Voltage	V <sub>DD2</sub>	4.7 $\mu$ F capacitor from VDD2 to AGND2, 1 $\mu$ F capacitor from VREG2 to AGND2	4.5	12	36	V	
Quiescent Supply Current	I <sub>DD2</sub>	SR unloaded					
		At 100 kHz		5.3		mA	
		At 300 kHz		5.5		mA	
	I <sub>DD2</sub>	SR loaded with 2.2 nF					
		At 100 kHz			6.4		mA
		At 300 kHz			8.7		mA
VDD2 UVLO Threshold							
		VDD2 rising			3.55	V	
		VDD2 falling	3			V	
UVLO Hysteresis				145		mV	
Secondary UVLO Hiccup Time				200		ms	
<b>OSCILLATOR</b>							
Switching Frequency (f <sub>s</sub> )		RT resistance (R <sub>RT</sub> ) = 480 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	50 – 10%	50	50 + 10%	kHz	
		R <sub>RT</sub> = 240 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	100 – 10%	100	100 + 10%	kHz	
		R <sub>RT</sub> = 120 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	200 – 10%	200	200 + 10%	kHz	
		R <sub>RT</sub> = 80 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	300 – 10%	300	300 + 10%	kHz	
		R <sub>RT</sub> = 60 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	400 – 10%	400	400 + 10%	kHz	
		R <sub>RT</sub> = 40 k $\Omega$ ( $\pm$ 1%)	600 – 10%	600	600 + 10%	kHz	
<b>VREG1 PIN</b>							
VREG1 Voltage Clamp		VREG1 current (I <sub>VREG1</sub> ) = 3 mA, V <sub>EN</sub> < 1.2 V	13.5	14.3	15.2	V	
VREG1 Clamp Series Resistance		VREG1 forced current of 5 mA and 10 mA		16		$\Omega$	
<b>GATE DRIVERS (PRIMARY)</b>							
GATE High Voltage		I <sub>VREG1</sub> = 20 mA, V <sub>IN</sub> > 9 V (ADP1071-2 only)	7.8	8	8.2	V	
Gate Short-Circuit Peak Current <sup>1</sup>		8 V on VREG1		1.0		A	
GATE Rise Time		GATE loaded with 2.2 nF, 10% to 90%		17		ns	
GATE Fall Time		GATE loaded with 2.2 nF, 90% to 10%		15		ns	
GATE Source Resistance	R <sub>ON_SOURCE</sub>	Source = 100 mA		4		$\Omega$	
GATE Sink Resistance	R <sub>ON_SINK</sub>	Sink = 100 mA		2		$\Omega$	
GATE Maximum Duty Cycle				84		%	
GATE Minimum On Time		At 300 kHz, includes blanking time		175		ns	
<b>SR DRIVER (SECONDARY)</b>							
SR High Voltage		I <sub>VREG2</sub> = 15 mA, VDD2 > 5.5 V	4.9	5	5.1	V	
SR Short Circuit Peak Current <sup>1</sup>		5 V on VREG2		1.0		A	
SR Rise Time		SR loaded with 2.2 nF, 10% to 90%		13		ns	
SR Fall Time		SR loaded with 2.2 nF, 90% to 10%		10		ns	
SR Minimum On Time		At 300 kHz		462		ns	
SR Source Resistance	R <sub>ON_SR_SOURCE</sub>	Source = 100 mA		3		$\Omega$	
SR Sink Resistance	R <sub>ON_SR_SINK</sub>	Sink = 100 mA		1.5		$\Omega$	
<b>DEAD TIME SETTING (GATE TO SR)</b>							
		Dead time between SR falling and GATE rising		30		ns	
		Dead time between GATE falling and SR rising		52		ns	

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit	
CURRENT-LIMIT SENSE (PRIMARY)							
CS Limit Threshold	$V_{CS\_LIM}$	Overcurrent sense limit threshold		120		mV	
CS Leading Edge Blanking Time				150		ns	
Current Source di/dt for Slope Compensation					20		$\mu\text{A per } t_s$
Overcurrent Protection (OCP) Comparator Delay					40		ns
Time in OCP Before Entering Hiccup Mode						1.5	ms
OCP Hiccup Time				See the Input/Output Current-Limit Protection section		40	ms
FB PIN AND ERROR AMPLIFIER							
Feedback Accuracy Voltage	$V_{FB}$	$T_J = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$	-0.85%	+1.2	+0.85%	V	
Temperature Coefficient		$T_J = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	-1.25%	+1.2	+1.25%	V ppm/ $^\circ\text{C}$	
FB Input Bias Current	$g_m$		-100	1	+100	nA	
Transconductance			230	250	270	$\mu\text{S}$	
Output Current Clamp Minimum				-57		$\mu\text{A}$	
Output Current Clamp Maximum				43		$\mu\text{A}$	
COMP Clamp Voltage Maximum					2.52		V
COMP Clamp Voltage Minimum					0.7		V
Open-Loop Gain					80		dB
Output Shunt Resistance			5		$\text{G}\Omega$		
Gain Bandwidth Product			1		MHz		
PRECISION ENABLE THRESHOLD							
EN Threshold	$V_{EN}$	EN rising	1.14	1.2	1.26	V	
EN Hysteresis		$V_{EN} < 1.2\text{ V}$		4		$\mu\text{A}$	
		$V_{EN} > 1.2\text{ V}$		1		$\mu\text{A}$	
EN Hysteresis Current				3		$\mu\text{A}$	
LIGHT LOAD MODE (ADP1071-1 ONLY)							
LLM Current Source		Resistor from MODE to AGND1	5.5	6.5	7.5	$\mu\text{A}$	
TEMPERATURE							
Thermal Shutdown Hysteresis				155		$^\circ\text{C}$	
				-15		$^\circ\text{C}$	
SOFT START							
Open Loop Soft Start Time on Primary	$t_{SS1}$	GATE resistor = 10 k $\Omega$		$16 \times 775$		$t_s$	
		GATE resistor = 22 k $\Omega$		$64 \times 775$		$t_s$	
		GATE resistor = 47 k $\Omega$		$256 \times 775$		$t_s$	
		GATE resistor = 100 k $\Omega$		$4 \times 775$		$t_s$	
SS2 Current Source		During startup		20		$\mu\text{A}$	
SS2 Discharging Current	During a fault condition or soft stop		30		$\mu\text{A}$		

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
SYNC PIN						
Synchronization Range			100		600	kHz
Input Pulse Width			100			ns
Number of Cycles Before Synchronization				7		Cycles
Input Voltage						
Low					0.4	V
High			3			V
Leakage Current					1	μA
iCOUPLER DELAY						
COMP Signal Delay Through iCoupler				600		ns
OVP PIN THRESHOLDS						
OVP Pin OV Threshold		Overvoltage (OV) threshold for OVP pin	1.3	1.36	1.42	V
OVP Pin OV Hysteresis				36		mV
OVP Comparator Delay (Includes iCoupler Delay)				320		ns
OVP Pin Leakage Current					1	μA
OVP Hiccup		Time before entering OVP hiccup mode Hiccup time triggered by OVP event		200		ms
				200		ms

<sup>1</sup> Short-circuit duration is less than 1 μs. Average power must conform to the limit shown in the Absolute Maximum Ratings section.

**INSULATION AND SAFETY RELATED SPECIFICATIONS**

Table 2.

Parameter	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
WIDE BODY SOIC						
iCOUPLER						
Rated Dielectric Insulation Voltage		1 minute duration		5		kV
Minimum External Air Gap (Clearance)		Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air		7.6		mm
Minimum External Air Gap (Creepage)		Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body		7.6		mm
Minimum Internal Gap (Internal Clearance)		Insulation distance through insulation		0.030		mm
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI			>400		V
Isolation Group		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)		II		
LAND GRID ARRAY (LGA)						
iCOUPLER						
Rated Dielectric Insulation Voltage		1 minute duration		2.5		kV
Minimum External Air Gap (Clearance)		Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air		4		mm
Minimum External Air Gap (Creepage)		Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body		4		mm
Minimum Internal Gap (Internal Clearance)		Insulation distance through insulation		0.030		mm
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI			>400		V
Isolation Group		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)		I		

**REGULATORY INFORMATION**

See Table 3, Table 4, and the Insulation Lifetime section for details regarding recommended maximum working voltages for specific cross isolation waveforms and insulation levels.

**Table 3. Regulatory Information for Wide Body SOIC Package**

UL (Pending)	CSA (Pending)	VDE (Pending)	CQC (Pending)
Recognized Under UL 1577 Component Recognition Program <sup>1</sup> Single Protection, 5000 V rms Isolation Voltage	Approved under CSA Component Acceptance Notice 5A  CSA 60950-1-07+A1+A2 and IEC 60950-1, second edition, +A1+A2: Basic insulation at 780 V rms (1103 V peak) Reinforced insulation at 390 V rms (552 V peak)  IEC 60601-1 Edition 3.1: Basic insulation (1 means of patient protection (1 MOPP)), 490 V rms (686 V peak) Reinforced insulation (2 MOPP), 238 V rms (325 V peak) CSA 61010-1-12 and IEC 61010-1 third edition: Basic insulation at 300 V rms mains, 780 V secondary (1103 V peak)	Certified according to DIN V VDE V 0884-10 (VDE V 0884-10):2006-12 <sup>2</sup>  Reinforced insulation, $V_{IORM} = 849$ peak, $V_{IOTM} = 8000$ V peak	Certified by CQC11-471543-2012, GB4943.1-2011: Basic insulation at 780 V rms (1103 V peak) Reinforced insulation at 389 V rms (552 V peak), tropical climate, altitude $\leq 5000$ meters
File E214100	File 205078	File 2471900-4880-0001	File (pending)

<sup>1</sup> In accordance with UL 1577, each product is proof tested by applying an insulation test voltage  $\geq 6000$  V rms for 1 sec.

<sup>2</sup> In accordance with DIN V VDE V 0884-10, each product is proof tested by applying an insulation test voltage  $\geq 1592$  V peak for 1 sec (partial discharge detection limit = 5 pC). The \* marking branded on the component designates DIN V VDE V 0884-10 approval.

**Table 4. Regulatory Information for LGA Package**

UL (Pending)	CSA (Pending)	VDE (Pending)	CQC (Pending)
Recognized Under UL 1577 Component Recognition Program <sup>1</sup> Single Protection, 3000 V rms Isolation Voltage	Approved under CSA Component Acceptance Notice 5A  CSA 60950-1-07+A1+A2 and IEC 60950-1, second edition, +A1+A2: Basic insulation at 400 V rms (565 V peak) Reinforced insulation at 200 V rms (283 V peak)  IEC 60601-1 Edition 3.1: Basic insulation (1 means of patient protection (1 MOPP)), 250 V rms (354 V peak) CSA 61010-1-12 and IEC 61010-1 third edition: Basic insulation at 300 V rms mains, 400 V secondary (565 V peak)	Certified according to DIN V VDE V 0884-10 (VDE V 0884-10):2006-12 <sup>2</sup>  Reinforced insulation, $V_{IORM} = 565$ V peak, $V_{IOTM} = 4242$ V peak impulse voltage = 4242 V peak	Certified by CQC11-471543-2012, GB4943.1-2011: Basic insulation at 400 V rms (565 V peak) Reinforced insulation at 200 V rms (283 V peak), tropical climate, altitude $\leq 5000$ meters
File (pending)	File (pending)	File (pending)	File (pending)

<sup>1</sup> In accordance with UL 1577, each product is proof tested by applying an insulation test voltage  $\geq 3000$  V rms for 1 sec.

<sup>2</sup> In accordance with DIN V VDE V 0884-10, each product is proof tested by applying an insulation test voltage  $\geq 1059$  V peak for 1 sec (partial discharge detection limit = 5 pC). The \* marking branded on the component designates DIN V VDE V 0884-10 approval.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 5.

Parameter	Rating
VIN, EN	66 V
VDD2	42 V
VREG1	16 V
VREG2	6 V
GATE	−0.3 V to +16 V
RT, CS, SYNC, SS2, FB, COMP, OVP, MODE, SR	6.5 V
AGND1, AGND2	±0.3 V
Operating Temperature Range	−40°C to +125°C
Common-Mode Transients <sup>1</sup>	±50 kV/μs
Junction Temperature	150°C
Peak Solder Reflow Temperature	
SnPb Assemblies (10 sec to 30 sec)	240°C
RoHS Compliant Assemblies (20 sec to 40 sec)	260°C
Electrostatic Discharge (ESD)	
Charged Device Model (CDM)	250 V
Human Body Model (HBM)	1 kV

<sup>1</sup> Refers to common-mode transients across the insulation barrier. Common-mode transients exceeding the absolute maximum rating can cause latch up or permanent damage.

Stresses at or above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the product. This is a stress rating only; functional operation of the product at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Operation beyond the maximum operating conditions for extended periods may affect product reliability.

### THERMAL RESISTANCE

Thermal performance is directly linked to printed circuit board (PCB) design and operating environment. Careful attention to PCB thermal design is required.

Table 6. Thermal Resistance<sup>1</sup>

Package Type	θ <sub>JA</sub>	θ <sub>JC</sub>	Unit
RW-16 (Wide Body SOIC)	79.3	44.6	°C/W
CC-24-6 (LGA)	62.1	43	°C/W

<sup>1</sup> Thermal impedance simulated values are based on JEDEC 2S2P thermal test board. See JEDEC JESD-51.

Table 7. Maximum Continuous Working Voltage Wide Body SOIC<sup>1</sup>

Parameter	Max	Unit	Constraint
Waveform			
AC Voltage			
Bipolar	565	V peak	50-year minimum lifetime
Unipolar	1131	V peak	50-year minimum lifetime
DC Voltage	1131	V peak	50-year minimum lifetime

<sup>1</sup> Refers to continuous voltage magnitude imposed across the isolation barrier. See the Insulation Lifetime section for more details.

Table 8. Maximum Continuous Working Voltage, LGA<sup>1</sup>

Parameter	Max	Unit	Constraint
Waveform			
AC Voltage			
Bipolar	565	V peak	50-year minimum lifetime
Unipolar	909	V peak	Limited by creepage
DC Voltage	565	V peak	Limited by creepage

<sup>1</sup> Refers to continuous voltage magnitude imposed across the isolation barrier. See the Insulation Lifetime section for more details.

### ESD CAUTION



**ESD (electrostatic discharge) sensitive device.** Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

## PIN CONFIGURATIONS AND FUNCTION DESCRIPTIONS

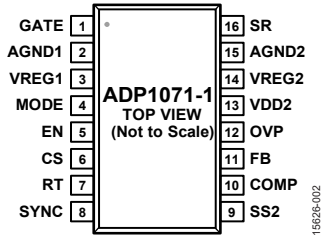


Figure 2. ADP1071-1 SOIC\_W Pin Configuration

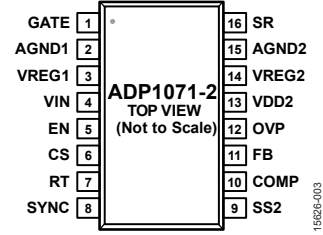
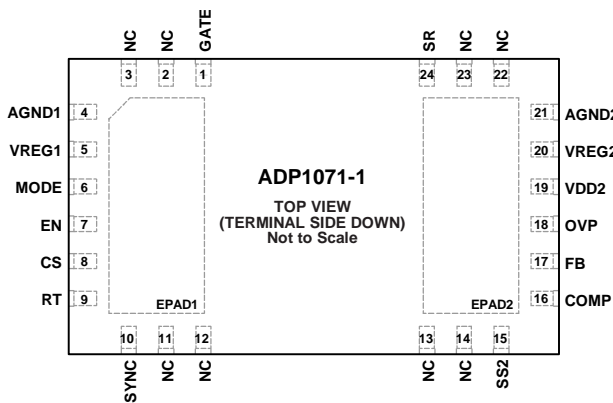


Figure 3. ADP1071-2 SOIC\_W Pin Configuration

Table 9. Pin Function Descriptions, Wide-Body SOIC

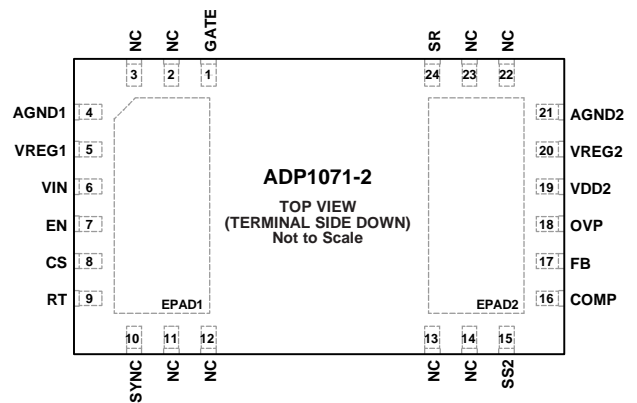
Pin No.		Mnemonic	Description
ADP1071-1	ADP1071-2		
1	1	GATE	Driver Output for the Main Power MOSFET on the Primary Side. GATE is a multiple function pin. Connect a resistor from GATE to AGND1 to set up the open loop soft start time.
2	2	AGND1	Ground for the Primary Side.
3	3	VREG1	8 V Regulated Low Dropout (LDO) Output for the MOSFET Driver. Connect 1 $\mu$ F or greater from VREG1 to AGND1.
4	Not applicable	MODE	Light Load Mode Pin. ADP1071-1 Only. This pin sets the light load mode threshold. Connect MODE to AGND1 to enable forced continuous conduction mode (CCM), or to a high logic (2.5 V or higher) to force an LLM operation, or to a resistor to set up an LLM threshold voltage.
Not applicable	4	VIN	Input Voltage (ADP1071-2 Only). See the Primary Side Supply, Input Voltage, and LDO section. Connect a 4.7 $\mu$ F capacitor to this pin. The size of this capacitor can be reduced if the input voltage to this pin is guaranteed stable. Reference this pin to AGND1.
5	5	EN	Precision Enable Input. The controller is enabled when EN is above the EN threshold voltage. This pin also has a programmable EN hysteresis. This pin is referenced to AGND1.
6	6	CS	Input Current Sensing. This pin senses the input PWM current. Place a current sense resistor between the source terminal of the power MOSFET and AGND1. This current sense resistor sets up the input current limit. This pin is also used for the external slope compensator. Connect a resistor from CS to the current sense resistor to generate a voltage ramp for the slope compensation. Reference this pin to AGND1. Connect a 33 pF to 100 pF capacitor at this pin to act as a resistor capacitor (RC) filter along with the slope compensation resistor in noisy environments.
7	7	RT	Switching Period Resistor. Connect a resistor from RT to AGND1 to set the oscillator frequency.
8	8	SYNC	Frequency Synchronization. Connect an external clock to the SYNC pin to synchronize the internal oscillator to this external clock frequency. Connect SYNC to AGND1 if this feature is not used. It is recommended that the SYNC frequency be within 10% of the frequency set by the RT pin.
9	9	SS2	Soft Start on the Secondary Side. Connect a capacitor from SS2 to AGND2 to set up the soft start time on the secondary side.
10	10	COMP	Compensation Node on the Secondary Side. This pin is the output of the transconductance ( $g_m$ ) amplifier. Reference this pin to AGND2.
11	11	FB	Feedback Node on the Secondary Side. Set up the resistive divider from the output voltage such that the nominal voltage, when the power supply is in regulation, is 1.2 V. Reference this pin to AGND2.
12	12	OVP	Output Overvoltage Protection. The OVP threshold is set at 1.36 V. Connect a resistive divider from OVP to the output and AGND2.
13	13	VDD2	Input Supply on the Secondary Side. Connect VDD2 to the output voltage of the power supply for a self driven configuration. Connect a 4.7 $\mu$ F capacitor from VDD2 to AGND2. The size of this capacitor can be reduced if the input voltage to VDD2 is guaranteed to be stable.
14	14	VREG2	5 V Regulated LDO Output for Internal Bias and Powering of the Drivers of the Synchronous Rectifiers. Do not use VREG2 as a reference or load. Connect a 1 $\mu$ F capacitor from VREG2 to AGND2.
15	15	AGND2	Analog Ground on Secondary Side.
16	16	SR	Driver Output for Synchronous Rectifier MOSFET.



NOTES  
 1. NC = NO CONNECT.  
 2. EPAD1 AND EPAD2 ARE INTERNALLY TIED TO AGND1 AND AGND2, RESPECTIVELY.

Figure 4. ADP1071-1 LGA Pin Configuration

19626-004



NOTES  
 1. NC = NO CONNECT.  
 2. EPAD1 AND EPAD2 ARE INTERNALLY TIED TO AGND1 AND AGND2, RESPECTIVELY.

Figure 5. ADP1071-2 LGA Pin Configuration

19626-005

Table 10. Pin Function Descriptions, LGA

Pin No.		Mnemonic	Description
ADP1071-1	ADP1071-2		
1	1	GATE	Driver Output for the Main Power MOSFET on the Primary Side. GATE is a multifunction pin. Connect a resistor from the GATE pin to AGND1 to set up the open loop soft start time.
2	2	NC	No Connect.
3	3	NC	No Connect.
4	4	AGND1	Ground for the Primary Side.
5	5	VREG1	8 V Regulated LDO Output for the MOSFET Driver. Connect 1 $\mu$ F or greater from VREG1 to AGND1.
6	Not applicable	MODE	Light Load Mode Pin (ADP1071-1 Only). This pin sets the light load mode threshold. Connect the MODE pin to either AGND1 to enable forced continuous conduction mode (CCM), or to a high logic (2.5 V or higher) to force an LLM operation, or to a resistor to set up an LLM threshold voltage.
Not applicable	6	VIN	Input Voltage (ADP1071-2 Only). See the Primary Side Supply, Input Voltage, and LDO section. Connect a 4.7 $\mu$ F capacitor to the VIN pin. The size of this capacitor can be reduced if the input voltage to the VIN pin is guaranteed stable. Reference the VIN pin to AGND1.
7	7	EN	Precision Enable Input. The controller is enabled when EN is above the EN threshold voltage. The EN pin also has a programmable EN hysteresis. The EN pin is referenced to AGND1.
8	8	CS	Input Current Sensing. The CS pin senses the input PWM current. Place a current sense resistor between the source terminal of the power MOSFET and AGND1. The current sense resistor sets up the input current limit. This pin is also used for the external slope compensator. Connect a resistor from the CS pin to the current sense resistor to generate a voltage ramp for the slope compensation. Reference the CS pin to AGND1. Connect a 33 pF to 100 pF capacitor at the CS pin to act as a resistor capacitor (RC) filter along with the slope compensation resistor in noisy environments.
9	9	RT	Switching Period Resistor. Connect a resistor from the RT pin to AGND1 to set the oscillator frequency.
10	10	SYNC	Frequency Synchronization. Connect an external clock to the SYNC pin to synchronize the internal oscillator to this external clock frequency. Connect the SYNC pin to AGND1 if this feature is not used. The SYNC frequency is recommended to be within 10% of the frequency set by the RT pin.
11	11	NC	No Connect.
12	12	NC	No Connect.
13	13	NC	No Connect.
14	14	NC	No Connect.
15	15	SS2	Soft Start on the Secondary Side. Connect a capacitor from SS2 to AGND2 to set up the soft start time on the secondary side.
16	16	COMP	Compensation Node on the Secondary Side. This pin is the output of the transconductance ( $g_m$ ) amplifier. Reference the COMP pin to AGND2.
17	17	FB	Feedback Node on the Secondary Side. Set up the resistive divider from the output voltage such that the nominal voltage, when the power supply is in regulation, is 1.2 V. Reference the FB pin to AGND2.

18	18	OVP	Output Overvoltage Protection. The OVP threshold is set at 1.36 V. Connect a resistive divider from the OVP pin to the output and AGND2.
19	19	VDD2	Input Supply on the Secondary Side. Connect VDD2 to the output voltage of the power supply for a self driven configuration. Connect a 4.7 $\mu$ F capacitor from VDD2 to AGND2. The size of this capacitor can be reduced if the input voltage to VDD2 is guaranteed to be stable.
20	20	VREG2	5 V Regulated LDO Output for Internal Bias and Powering of the Drivers of the Synchronous Rectifiers. Do not use VREG2 as a reference or load. Connect a 1 $\mu$ F capacitor from VREG2 to AGND2.
21	21	AGND2	Analog Ground on Secondary Side.
22	22	NC	No Connect.
23	23	NC	No Connect.
24	24	SR	Driver Output for Synchronous Rectifier MOSFET.
		EPAD1	Exposed Pad 1. Exposed pad is internally tied to AGND1.
		EPAD2	Exposed Pad 2. Exposed pad is internally tied to AGND2.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

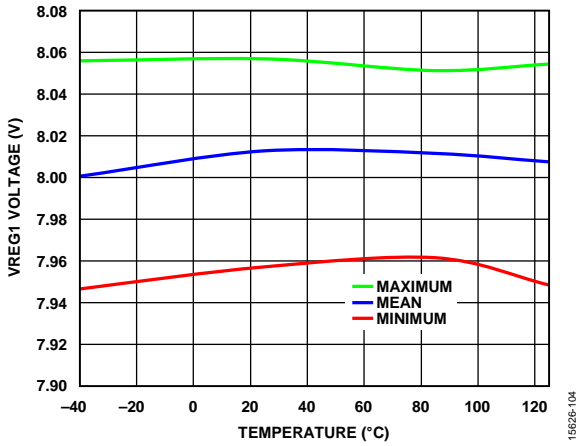


Figure 6. VREG1 Voltage vs. Temperature

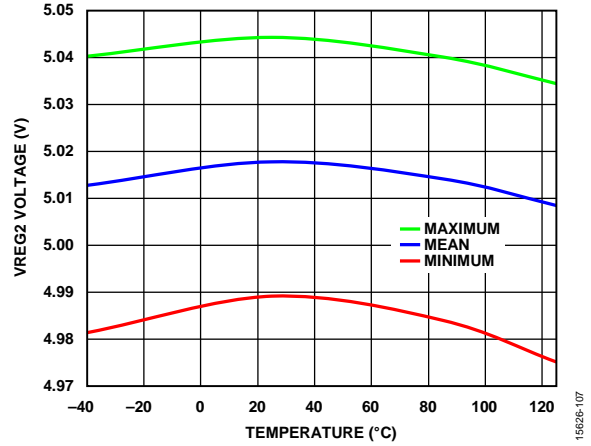


Figure 9. VREG2 Voltage vs. Temperature

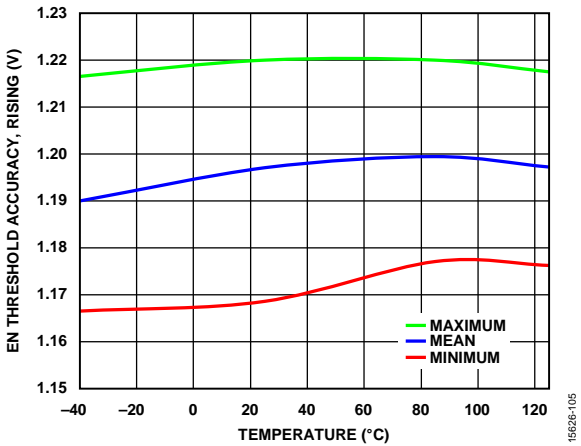


Figure 7. Rising EN Threshold Accuracy vs. Temperature

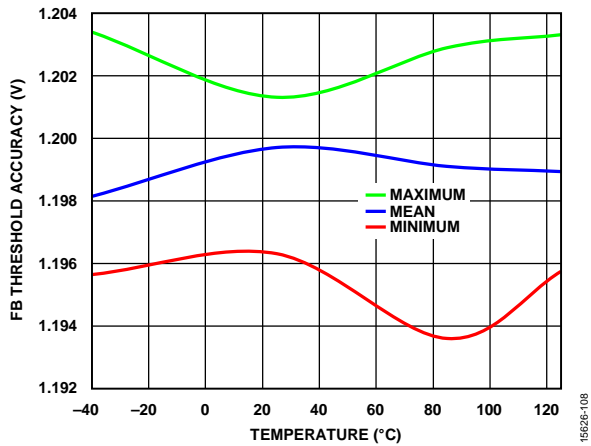


Figure 10. FB Threshold vs. Temperature

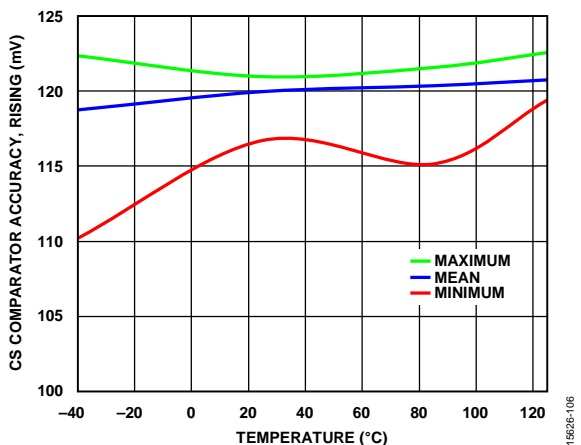


Figure 8. Rising CS Comparator Accuracy vs. Temperature

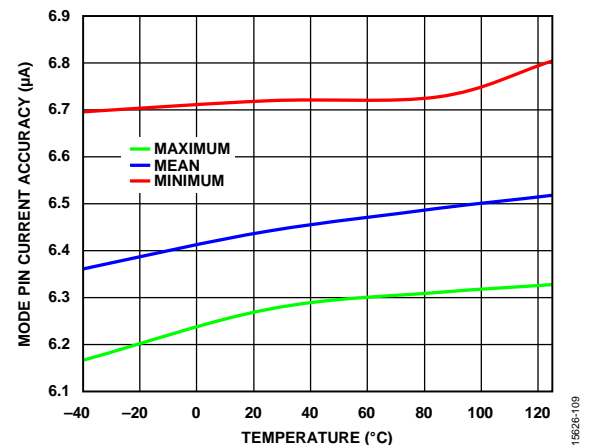


Figure 11. MODE Pin Current Source Accuracy vs. Temperature

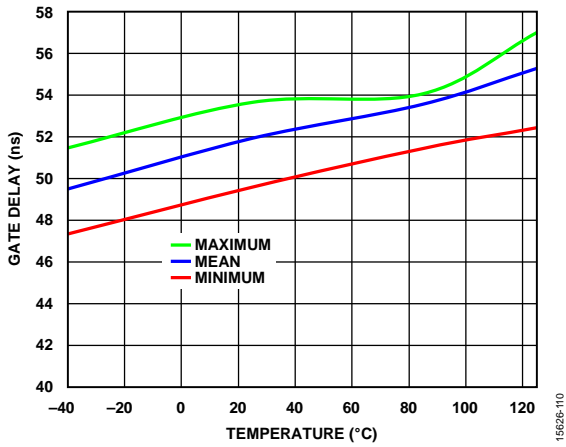


Figure 12. GATE Delay vs. Temperature (GATE Falling to SR Rising)

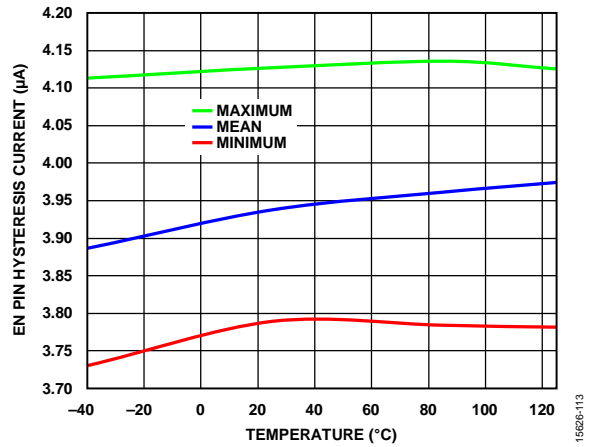


Figure 15. EN Pin Hysteresis Current vs. Temperature, EN < 1.2 V

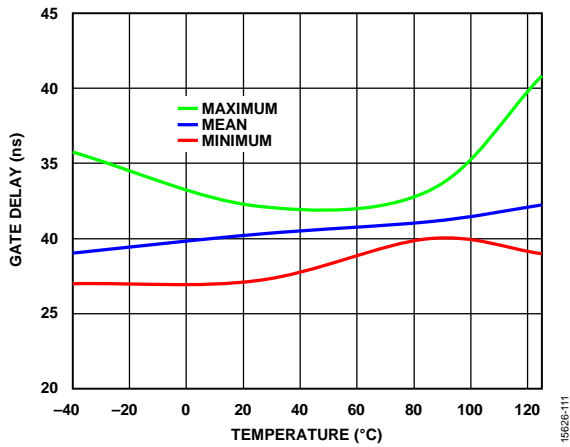


Figure 13. GATE Delay vs. Temperature (GATE Falling to SR Rising)

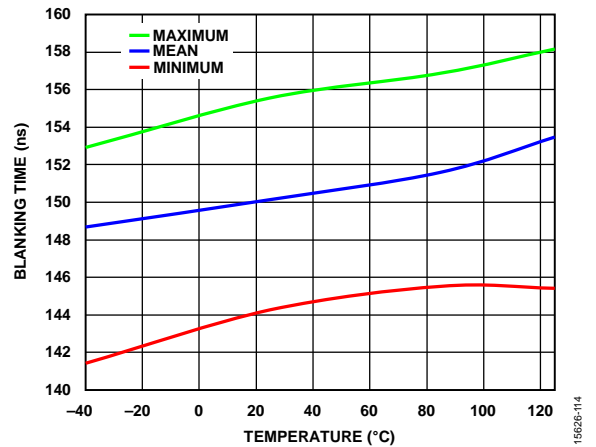


Figure 16. Blanking Time vs. Temperature

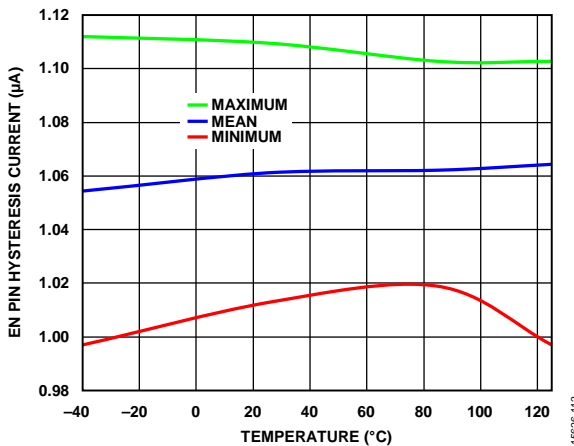


Figure 14. EN Pin Hysteresis Current vs. Temperature, EN > 1.2 V

## THEORY OF OPERATION

The ADP1071-1/ADP1071-2 are PWM, current mode, fixed frequency, synchronous flyback controllers designed for isolated dc-to-dc power supplies. Analog Devices *i*Couplers are integrated in the ADP1071-1/ADP1071-2 to eliminate the bulky signal transformers and optocouplers that transmit signals over the isolation boundary. Integrating the *i*Couplers reduces system design complexity, cost, and component count and improves overall system reliability. With the integrated isolators and MOSFET drivers on both the primary and the secondary side, the ADP1071-1/ADP1071-2 offer a compact system level design and yield a higher efficiency than a diode rectified flyback converter at heavy loads.

Traditionally in a forward or flyback converter, a discrete optocoupler is used in the feedback path to transmit the signal from the secondary to the primary side, and an external transformer is used for transmitting the PWM signal from the primary to the secondary side for synchronous rectification. However, the current transfer ratio (CTR) of the optocouplers degrades over time and over temperature and so the optocoupler must be replaced every 5 to 10 years, depending on the manufacturing quality and optocoupler grade that determines the initial CTR. The ADP1071-1/ADP1071-2 eliminate the use of an optocoupler and signal transformer, thus reducing system cost, PCB area, and complexity, while improving system reliability without the issue of CTR degradation of the optocouplers.

The ADP1071-1/ADP1071-2 controllers offer a complete solution for an isolated dc-to-dc power supply by integrating the 5 kV isolators and the primary and secondary control circuitries in one package.

The PWM controls are performed on the primary side by sensing the input peak current cycle by cycle with a sense resistor at the source of the main switching MOSFET. The output of the converter is sensed by the secondary circuitry, which sends the feedback and PWM signals to the primary side via the 5 kV integrated isolators for a complete control loop solution.

The primary circuitry in the ADP1071-1/ADP1071-2 includes an 8 V LDO, input current sensing, bias circuit, and MOSFET drivers including an active clamp reset driver, slope compensation, external frequency synchronization, PWM generator, and a programmable maximum duty cycle setting. The primary side also has pins for differential sensing of the current sense signal.

The secondary circuitry includes the feedback compensation, a 5 V LDO regulator, an internal reference, two MOSFET drivers for synchronous rectification, and a dedicated pin for overvoltage protection. Additionally, the secondary side features differential output voltage sensing and a programmable LLM setting.

The integrated *i*Couplers carry out the communications between the primary and secondary sides by transmitting the feedback signal and the PWMs over the isolation barrier.

The feedback signal and timing of synchronous rectifier PWMs are transmitted between the primary and the secondary sides, or between the secondary and primary sides, through the *i*Couplers using a proprietary transmission scheme.

The ADP1071-1/ADP1071-2 also offer features such as input current protection, OVP, UVLO, precision enable with adjustable hysteresis, OTP, LLM, and tracking.

DETAILED BLOCK DIAGRAM

Figure 17 shows a detailed block diagram of the ADP1071-1/ADP1071-2.

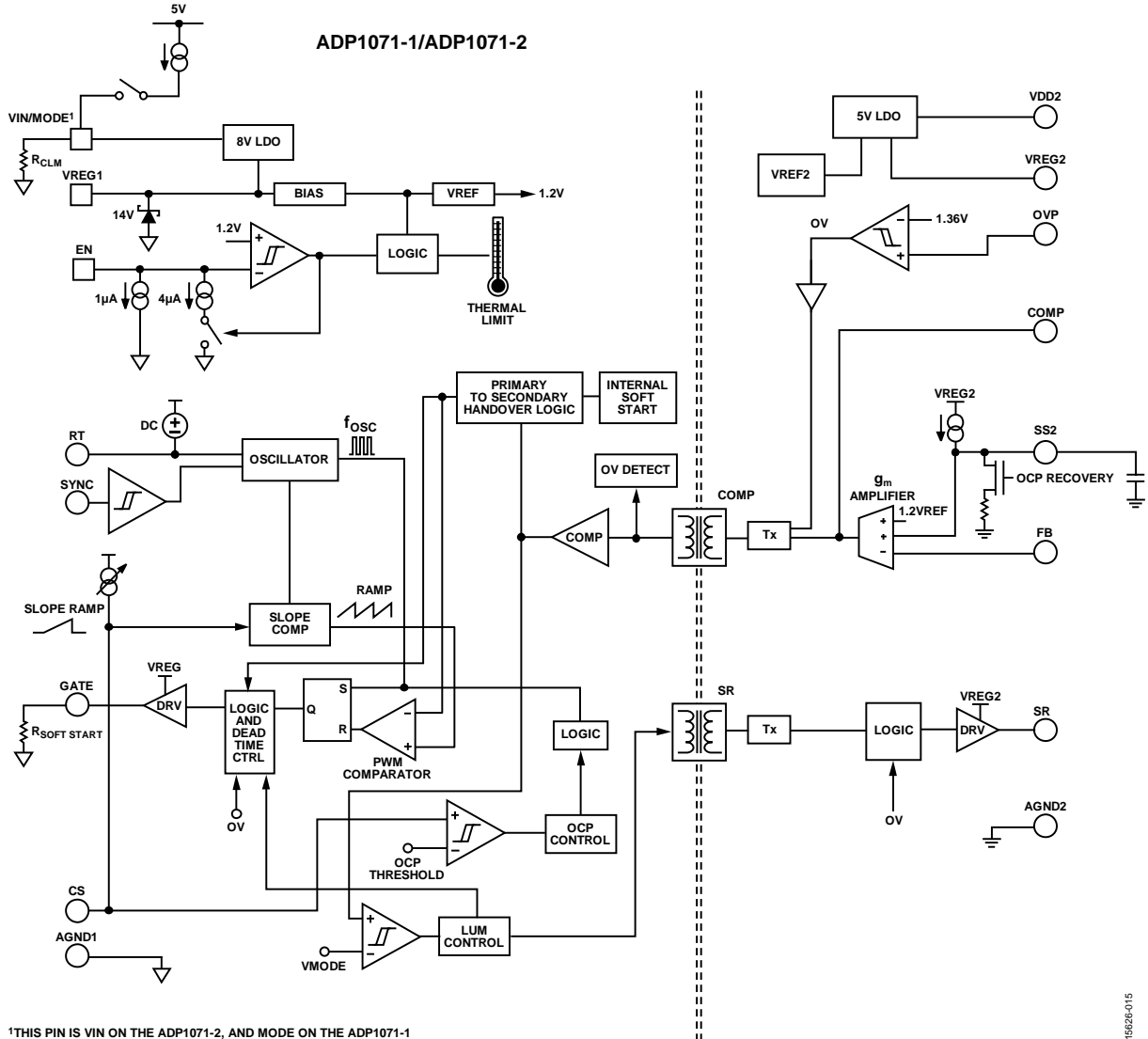


Figure 17. Detailed Block Diagram

15626-015

### PRIMARY SIDE SUPPLY, INPUT VOLTAGE, AND LDO

The voltage at the VREG1 pin powers the internal circuitry, primary side *i*Couplers, housekeeping circuits, and the primary MOSFET driver at the GATE pin.

In the ADP1071-1, power must be supplied to the VREG1 using an external start-up circuit.

In the ADP1071-2, a high voltage LDO regulator is connected to the VIN pin and has a regulated output of 8 V at VREG1.

In the ADP1071-2, to reduce power consumption in the LDO for input voltages higher than approximately 30 V, an auxiliary winding on the transformer of the active clamp forward topology can be used to power VREG1. This auxiliary supply voltage must be higher than the regulated output at VREG1 so that the LDO shuts off during normal operation.

In both the ADP1071-1 and ADP1071-2, the recommended auxiliary voltage is from 8.5 V to 12.5 V because an internal 14 V Zener diode is connected at VREG1.

### SECONDARY SIDE SUPPLY AND LDO

Two pins on the secondary side are supply pins: VDD2 and VREG2.

The secondary side is typically powered by the output rail of the converter by connecting it to the VDD2 pin. The UVLO for the secondary side is typically 3.55 V, at which the secondary side starts up. For output voltages less than the secondary UVLO voltage, a third winding is required to generate an auxiliary voltage to power the secondary circuitry. The internal 5 V LDO regulator at the VREG2 pin powers the MOSFET drivers, secondary side *i*Couplers, and housekeeping circuits. When VDD2 is less than 5 V, the LDO regulator operates in dropout mode.

For output voltages higher than 24 V, connecting the output voltage directly to VDD2 can result in significant power dissipation in the LDO. For instance, at 24 V and with the total driver current at 10 mA, the power dissipated in the LDO is 0.19 W (10 mA × 19 V). It is recommended to power VDD2 with an auxiliary voltage in the 8 V to 12 V range.

### PRECISION ENABLE

The enable threshold at the EN pin is precision voltage referenced at 1.2 V.

In the ADP1071-1, the soft start procedure commences immediately when VIN is above the UVLO voltage (typically 4.5 V) and the voltage at the EN pin rises above 1.2 V.

In the ADP1071-2, the soft start procedure commences after a small delay when VIN is above the UVLO voltage (typically 4.5 V) and the voltage at the EN pin rises above 1.2 V. This delay comprises the time taken to charge the capacitor at the VREG1 pin through the internal 8 V LDO. After the internal biasing is finished, the soft start procedure initiates.

Connect a resistive divider between EN and VIN to set up the input start-up voltage (see Figure 18). An internal current source at EN allows the user to program the UVLO start-up voltage with a desirable hysteresis. To calculate the start-up voltage with hysteresis, use the superposition theorem or nodal analysis to obtain the EN pin voltage, as follows:

$$V_{EN} = V_{IN} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_{EN} \times (R_1 \parallel R_2 + R_H)$$

where:

$V_{EN}$  is the EN pin voltage.

$I_{EN}$  is the current source at the EN pin (1  $\mu$ A for turn on and 4  $\mu$ A for turn off).

The user can adjust the  $R_1$ ,  $R_2$ , and  $R_H$  resistors such that  $V_{EN} \geq 1.2$  V and obtain the desired hysteresis.

An internal 1  $\mu$ A pull-down current is always on, and the 3  $\mu$ A current is active only when the  $V_{EN}$  is below the EN threshold and becomes inactive when  $V_{EN}$  is above the EN threshold.

In general, a higher input voltage requires a larger hysteresis. It is recommended to keep a capacitor on the EN pin to AGND1 to provide a low impedance path that prevents any noise, which toggles the EN pin when the input voltage hovers at the threshold.

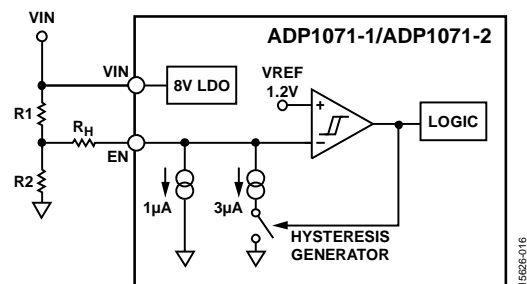


Figure 18. Precision EN with Adjustable Hysteresis

When the EN pin is less than the threshold, the system enables the soft stop procedure. SR takes up to a maximum of two switching periods to terminate. See the Soft Start Procedure section for more details.

## SOFT START PROCEDURE

The following procedure assumes that the VDD2 pin is powered directly from the output voltage of the power supply.

To ensure a smooth output voltage ramp during startup, the soft start sequence is controlled by two soft start control circuits, one in the primary (for open-loop soft start using the GATE pin) and the other in the secondary (for closed-loop soft start, using the SS2 pin). Proper handshaking between the primary side and the secondary side is needed prior to the secondary side taking control.

The open-loop soft start time is determined by the resistor on the GATE pin prior to startup. The primary peak current is increased gradually every switching period. The slew rate of the increase in peak current is determined by selecting the GATE resistor prior to startup. The current increases from a minimum of 0 A to a maximum of  $120 \text{ mV}/R_{\text{SENSE}}$ . This rate is the open-loop soft start. Four speeds are available:  $4 \times 775$ ,  $16 \times 775$ ,  $64 \times 775$ , and  $256 \times 775$  switching periods for resistors 100 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 22 k $\Omega$ , and 47 k $\Omega$ , respectively.

During this time, the ADP1071-1/ADP1071-2 start firing the PWM pulses and the output voltage continues to build up slowly if the average current on the secondary side exceeds the load current. Because the ADP1071-1/ADP1071-2 are current mode controllers, the output capacitor starts charging only when the primary current limit exceeds the load current requirement.

The handshaking process is as follows.

When VDD2 reaches the UVLO of approximately 3.5 V, the internal circuitry on the secondary side is activated and the ADP1071-1/ADP1071-2 initiate the following two processes:

1. The ADP1071-1/ADP1071-2 make the voltage on the SS2 pin equal to the value on the FB pin, with an SS2 pin current, at 10 times the nominal current source of 20  $\mu\text{A}$  on the SS2 pin.
2. Simultaneously, the current limit on the primary side is transferred over to the secondary side and the voltage on the COMP pin is made equal to the instantaneous current limit of  $\pm 100 \text{ mV}$ . There is a timeout for this process, which is 1.5 ms after the VDD2 UVLO threshold is crossed.

When this process is satisfied, the transmission of the COMP signal occurs from the secondary to the primary side. The ADP1071-1/ADP1071-2 transmit the COMP signal by continuously sampling the analog signal at the COMP pin. The sampled value is then transmitted using a proprietary scheme to the primary side where the instantaneous value of the CS pin is compared to the COMP level to determine the falling edge of the GATE pulse. The COMP signal is, therefore, a representation of the primary current limit.

After COMP transmission begins, the primary side receives the signal and control is completely handed over to the secondary side when either the received level of COMP on the primary side is within  $\pm 100 \text{ mV}$  or up to 128 switching periods (typically 8) have passed, starting from the first pulse being transmitted to the primary side.

Then, after the control is handed over to the secondary side, the closed-loop soft start begins, where the SS2 capacitor is charged at a nominal rate of 20  $\mu\text{A}$ . The output voltage then rises to the regulation voltage based on the SS2 pin voltage. The voltage on the SS2 pin continues to rise to 1.2 V, that is, the steady state voltage on the FB pin. At this stage, the power supply is in regulation, and the output voltage is at its target value.

At the end of the soft start process, the voltage on the SS2 pin continues to rise to approximately 1.4 V. In steady state, the FB pin (that is, the reference voltage) is 1.2 V.

The SR1 and SR2 synchronous drivers begin to pulse after VDD2 crosses the UVLO threshold.

If the voltage at the VDD2 pin is greater than the UVLO voltage, such as a soft start from the precharged output, or if the VDD2 pin is powered by an external supply, the secondary side assumes control from the moment the EN pin is enabled, and only SS2 is used for the soft start procedure.

When initiating a soft start from the precharged output, the SS2 pin tracks the FB pin and then initiates a soft start. This process eliminates any glitches in the output voltage.

When soft starting into a precharged output, the SR gate is prevented from turning on until the SS2 voltage reaches the precharged voltage at the FB pin. This soft start scheme prevents the output from being discharged, and it prevents reverse current.

Under abnormal situations, such as a shorted load or a transient condition on the load during the soft start process, FB may not be able to track SS2 accurately. If this condition occurs before the VDD2 UVLO threshold is crossed, the open loop soft start is in effect. If it occurs after the VDD2 UVLO threshold is crossed, SS2 tracks the FB pin and then continues with the soft start process until the regulation voltage is reached. In all conditions, control is handed over to the secondary side if  $\text{FB} \geq 1.2 \text{ V}$ .

When the secondary VDD2 is directly powered by the output of the converter, the minimum output voltage required is higher than the secondary UVLO voltage. For output voltages less than the secondary UVLO voltage, a third winding is needed to generate an auxiliary voltage to power the secondary side circuitry. Alternatively, in most cases, a diode resistor capacitor combination from the switch node can provide the voltage to VDD2.

## OUTPUT VOLTAGE SENSING AND FEEDBACK

The output voltage of the converter is set by a resistive divider to the FB pin. The resistive divider must be set in a manner such that the voltage at the FB pin is 1.2 V in steady state. The output voltage must be differentially sensed using the FB pin and the AGND2 pin.

## LOOP COMPENSATION AND STEADY STATE OPERATION

The FB pin feeds into the negative terminal of a transconductance amplifier (or  $g_m$  amplifier) with a gain of approximately 250  $\mu\text{A}/\text{V}$ . The positive input terminal of the  $g_m$  amplifier is connected to SS2, which provides the reference setpoint voltage. The output of the  $g_m$  amplifier is connected to the COMP pin. The voltage on the COMP pin is representative of the current peak limit required to sustain regulation. This pin is continuously sampled, and the signal is transmitted to the primary side, where it is compared to the sensed primary current using a comparator. When the comparator trips, it causes GATE to terminate.

Typically, an RC network in series is connected between the COMP pin and AGND2 for compensation. A high frequency pole in the form of a capacitor can also be added in parallel to the RC network.

The output of the  $g_m$  amplifier is clamped to a minimum and maximum current of approximately +40  $\mu\text{A}$  and -65  $\mu\text{A}$ , respectively.

The COMP node is clamped to a lower and higher level of approximately 0.7 V and 2.52 V, respectively. This is representative of the CS range from 0 mV to 120 mV.

## SLOPE COMPENSATION

For a peak current mode controller with a duty cycle higher than 50%, slope compensation is necessary for a stable operation. To set up an external compensation in the ADP1071-1/ADP1071-2, connect the external  $R_{\text{RAMP}}$  resistor (see Figure 30) between CS and the current sense resistor,  $R_{\text{SENSE}}$ , to set up the slope voltage ramp for the control signal. It is important to sense the signal differentially. See the Layout Guidelines section for more details.

An internal ramp current starts from 0  $\mu\text{A}$  at the minimum duty cycle (that is, the beginning of the switching period) and increases linearly toward a maximum of 20  $\mu\text{A}$  at the end of the switching period. The slope of the voltage ramp is the ramp current times  $R_{\text{RAMP}}$ .  $R_{\text{RAMP}}$  is sized using the following equation:

$$R_{\text{RAMP}} \geq k \frac{V_{\text{OUT}}}{L} \times \frac{N_2}{N_1} \times \frac{R_{\text{SENSE}}}{20 \mu\text{A}} \times t_s$$

where:

$k = 0.5$  for nominal cases and  $k = 1$  for deadbeat control.

$V_{\text{OUT}}$  is the desired output voltage.

$L$  is the output inductor.

$N_1$  and  $N_2$  are the primary and secondary turns of the transformer.

$t_s$  is the switching period.

## INPUT/OUTPUT CURRENT-LIMIT PROTECTION

There is no direct current-limit sensing circuit in the secondary side, but the output current limit is indirectly set by sensing the input primary peak current cycle by cycle. A leading edge blanking time is added after the rising edge of the GATE signal to avoid picking up any unwanted noise or ringing at the CS pin at the start of the switching period.

The input peak current limit is set by connecting a sense resistor,  $R_{\text{SENSE}}$ , from the source of the main MOSFET to AGND1, and the sensed voltage appears at the CS pin. To generate the slope-comp ramp, insert the slope compensation resistor,  $R_{\text{RAMP}}$ , between CS and  $R_{\text{SENSE}}$ .

The CS current limit,  $V_{\text{CS\_LIM}}$ , is internally set to 120 mV.

Calculate the  $R_{\text{SENSE}}$  value by

$$R_{\text{SENSE}} = \frac{V_{\text{CS\_LIM}} - R_{\text{RAMP}} \times 20 \mu\text{A}}{I_{\text{PKPRI}}}$$

where:

$V_{\text{CS\_LIM}}$  is the CS current limit.

$I_{\text{PKPRI}}$  is the primary peak current.

When the sensed input peak current is above the CS limit threshold, the controller operates in the cycle by cycle constant current limit mode for 1.5 ms. Then, the controller immediately shuts down the primary and secondary drivers. The controller then enters hiccup mode for the next 40 ms and restarts the soft start sequence after this timeout period.

The slope ramp can affect the accuracy of the current-limit threshold because the voltage drop across  $R_{\text{RAMP}}$  contributes to the inaccuracy of the peak current limit. For instance, if the added slope ramp voltage is 20% of the current-limit threshold, the actual input peak current limit can be off by as much as 20% depending on where the peak current-limit threshold is tripped during the on cycle. In the event of an output short circuit, the controller treats this condition as an overcurrent event and enters the 40 ms hiccup mode.

Under certain situations, the ADP1071-1/ADP1071-2 exit OCP hiccup mode. In this condition, even though the COMP pin is at the maximum clamp level, the device does not enter hiccup mode. It is guaranteed that the PWMs are terminated whenever the CS maximum threshold is reached. The conditions under which this can occur are as follows.

Under certain conditions, the ADP1071-1/ADP1071-2 exit OCP hiccup mode. In these conditions, the COMP pin is at the maximum clamp level, but the device does not enter hiccup mode. However, it is guaranteed that the PWMs are terminated whenever the CS maximum threshold is reached. The condition under which the ADP1071-1/ADP1071-2 skip entering hiccup mode is when VDD2 is powered through an auxiliary winding, and an output short circuit occurs that results in the FB pin having a voltage that is less than 300 mV. This event is more prominent at high temperatures (>85°C) and can be exacerbated at higher temperatures.

The root cause of the device exiting hiccup mode is due to the effect that the OCP hiccup mode feature has on the SS2 pin. During OCP recovery, the SS2 pin tracks the FB pin and attempts a soft start from the precharge sequence. During this time that SS2 tracks FB, the SS2 pin voltage can be less than the FB pin voltage for a short interval, which causes the COMP pin (output of the  $g_m$  amplifier) to momentarily fall below the maximum COMP pin clamp level. This event means that the current limit required for the next few switching periods is less than the maximum threshold and puts the device out of hiccup mode because the ADP1071-1/ADP1071-2 fail to register 1.25 ms worth of consecutive overcurrent cycles and fails to enter OCP hiccup mode.

The following scenarios guarantee OCP hiccup mode based on the configuration of the VDD2 power supply:

- When VDD2 is powered directly from the output voltage, if a short circuit on the output terminals of the load occurs after steady state regulation is achieved, the VDD2 pin voltage is less than the UVLO threshold, and the device enters hiccup mode for 200 ms, similar to the hiccup time described in the Remote System Reset section.
- When VDD2 is powered through auxiliary winding or another configuration, when a short circuit occurs on the output terminals, the auxiliary winding is not shorted and maintains a positive voltage above the VDD2 UVLO threshold. To enter hiccup mode, the following circuit is recommended, as shown in Figure 19. The circuit operates as follows: when the output voltage goes low due to a short circuit, the D1 diode turns on, which pulls the base of the bipolar junction transistor (BJT) low, shutting off VDD2. The system then enters hiccup mode, as described in the Remote System Reset section.

R3 is sized to bias the Zener diode and R4 is sized such that  $(V_{ZENER} - 1)/R4 > I_{ZENER}$ , where  $V_{ZENER}$  is the voltage of the diode and  $I_{ZENER}$  is the biasing current of the diode. This sizing ensures that the impedance of the resistor is less than the impedance of the diode, which causes the voltage of the diode to drop, and allows VDD2 to enter UVLO.

If the output voltage is  $<5$  V, the same procedure can be used to size the R4 resistor. If a discrete LDO is not used, a simple resistor and diode connector to the output voltage is sufficient. In this case, the R4 resistor is sized to limit the current through the D1 diode when the output voltage is 0 V during a short circuit event. Because the bandwidth of the system is high, the ADP1071-1/ADP1071-2 are able to maintain voltage regulation at the proper voltage level, even if the auxiliary winding voltage is higher than the output voltage. The soft start and soft start from precharge conditions is met with the addition of this circuit due to the bandwidth of the overall system.

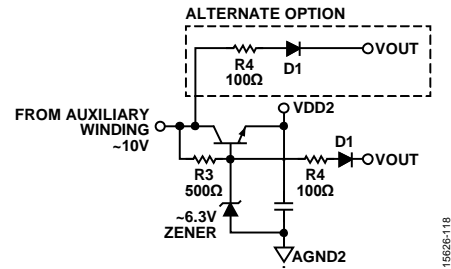


Figure 19. Recommended Circuit to Guarantee Hiccup Mode

## TEMPERATURE SENSING

The ADP1071-1/ADP1071-2 have an internal temperature sensor that shuts down the controller when the internal temperature exceeds the OTP limit. At this time, the primary and secondary MOSFET drivers (GATE and SR) are held low. When the temperature drops below the OTP hysteresis level, the ADP1071-1/ADP1071-2 restart with a soft start sequence.

## FREQUENCY SETTING (RT PIN)

The switching frequency can be programmed in a range of 50 kHz to 600 kHz by connecting a resistor from RT to AGND1. A small current flows out of the RT pin and the voltage across it sets up the internal oscillator frequency. The value of this pin is approximately 1.224 V in steady state. Use the following equation to determine the resistor (in  $\Omega$ ) for a particular switching frequency (in kHz):

$$f_s (\text{kHz}) = \frac{1}{41.67 \times 10^{-12} \times R} \times \frac{1}{1000}$$

where:

$f_s$  is the switching frequency.

$R$  is the resistor on the RT pin.

## MAXIMUM DUTY CYCLE

To prevent the transformer core from saturating in the event of high current or extreme load transient, a maximum duty cycle clamp is internally set to 85%.

As an added protection feature to prevent open-loop conditions, the maximum duty cycle is also applicable during soft start. If the controller reaches the maximum duty cycle during soft start for three consecutive switching periods, the 40 ms hiccup timer is initiated.

## FREQUENCY SYNCHRONIZATION

The switching frequency of the ADP1071-1/ADP1071-2 can be synchronized to an external clock at the SYNC pin. When an external clock rising edge is first detected, it takes approximately seven to ten periods for the internal clock to lock in the SYNC clock frequency. In between the time that the SYNC clock is detected and the time that it is locked in, the controller continues to operate with the internal oscillator frequency.

The SYNC frequency must be within  $\pm 10\%$  of the internal oscillator frequency set by the RT pin. Otherwise, synchronization does not take place.

A clock signal can be applied to SYNC on the fly or prior to the soft start sequence. A dithered clock can also be applied to SYNC to reduce the peak electromagnetic interference (EMI) noise in the converter output and switch node. The internal clock is able to lock onto the dithered clock cycle by cycle.

It is recommended to connect the SYNC pin to AGND1 if this feature is not used.

### SYNCHRONOUS RECTIFIER (SR) DRIVER

There is a synchronous rectifier driver on the secondary side for driving the synchronous switch. VDD2 is the front end of the LDO at VREG2. The 5 V internal LDO at VREG2 powers the SR drivers and all internal circuits on the secondary side. The recommended power supply range at VDD2 is from 6 V to 36 V. However, at 36 V input to VDD2, the power dissipation in the LDO can be significant. If VDD2 is less than 5 V, the LDO operates in the dropout region, where VREG2 and the driver output are less than 5 V. In this case, it is recommended to supply VDD2 with an auxiliary power supply greater than 5 V.

VDD2 can be directly connected to the converter output or an auxiliary power supply, by using a third winding of the main transformer. For additional drive strength, SR can be fed into an external MOSFET driver such as the ADP3624 or the ADP3654.

### OUTPUT OVERVOLTAGE PROTECTION (OVP)

When the output voltage exceeds the OVP threshold of 1.36 V, the controller immediately shuts off the drivers (GATE and SR) on both the primary and secondary side. When the voltage at the OVP drops below the OV hysteresis level, the controller resumes switching in the next switching period with the primary drivers, followed by the phasing in of SR. The OVP feature causes the system to enter hiccup for 200 ms if the voltage on the OVP pin exceeds 1.36 V for a sustained period of 200  $\mu$ s.

### SR DEAD TIME

To maximize efficiency and avoid cross conduction between the primary and secondary sides, a fixed dead time between GATE and SR is provided, as shown in Figure 20.



Figure 20. Gate to SR Dead Time

### LIGHT LOAD MODE (LLM) AND CONTINUOUS CONDUCTION MODE (CCM)

The ADP1071-1 has a power saving mode feature in which the LLM threshold is programmable by connecting a resistor from the MODE pin to AGND1. A current source flowing through this resistor directly sets up the LLM threshold, which is compared to the COMP voltage on the primary side. The SR driver is turned off when the COMP voltage on the primary is below the LLM threshold, and conduction current continues to flow through the body diode of the SR MOSFET. However, the primary gate driver continues to operate in full PWM mode. When the COMP voltage moves above the LLM threshold, the controller operates in forced CCM.

When the COMP voltage rises above the LLM threshold (that is, the MODE pin voltage), the SR PWMs gradually increase (or phase in) from the duty cycle at light load to the steady state duty cycle at the SR phase in rate. The SR phase in rate moves the SR edges every 1.5 ns per  $\mu$ s. Without the phase in sequence, a dip in the output voltage can occur if the SR PWMs transition from zero to full duty cycle instantaneously.

In a load dump situation, for example, when the load is stepped from full load to light load, that is, from continuous conduction mode (CCM) to discontinuous conduction mode (DCM) operation, the duty cycles of the SR PWMs gradually phase out at the SR phase out rate, which has the same numerical value of the SR phase in rate. The phase out sequence of the SR PWMs prevents reverse current in the secondary side, and at the same time, optimizes the dynamic performance of the output response. Note that the level of COMP is still above the minimum COMP clamp level at this point, and the ADP1071-1 outputs duty cycles with minimum on time.

If the load is further reduced and the COMP pin voltage becomes equal to the minimum COMP clamp level, the ADP1071-1 enters pulse skip mode.

Note that when the system enters light load mode, the synchronous rectifiers terminate at the falling edge of GATE, which prevents termination at a negative current.

Use the following formula to set up the LLM threshold:

$$R_{MODE} = \frac{I_{PEAK\_LLM} \times CS_{GAIN} + 0.8}{I_{MODE}}$$

where:

$I_{PEAK\_LLM}$  is the peak primary current at the particular no load condition.

$CS_{GAIN} = 12.5$ .

$I_{MODE}$  is the current flowing out of the MODE pin.

For full time CCM operation, connect MODE to AGND1.

The ADP1071-2 does not have an LLM and always operates in forced CCM. Pulse skipping is not available in the ADP1071-2.

## SOFT STOP

The ADP1071-2 employs a soft stop feature that brings the output voltage gradually down to zero by using the SS2 pin as a reference. During the soft stop procedure, the SS2 pin is discharged to zero by a current sink of approximately 1.5 times the value during closed-loop soft start.

When the voltage at EN drops below the EN threshold, the SR secondary driver shuts off immediately, and the primary GATE pulse width gradually decreases the duty cycle from the last known condition to the minimum pulse width and down to zero, causing the output voltage to decrease. The soft stop feature prevents any reverse current when the controller is shut down.

When the output voltage decreases below the VDD2 UVLO threshold, there is no transmission of the COMP signal to the primary side. Therefore, the output voltage continues to decrease at the rate at which the load current discharges the output capacitor.

When the load is at a minimum or at no load, the output voltage does not discharge because any reduction in duty cycle or current limit does not discharge the output voltage linearly.

## OCP/FEEDBACK RECOVERY

During steady state, the FB pin is at 1.2 V. At this time, the SS2 pin voltage is 1.4 V. Under abnormal situations, such as an overload condition, the output voltage can dip severely. In such an event, the current limit is at the maximum level, and the COMP pin voltage is at its clamp level. If the two conditions of the COMP pin voltage being clamped and  $V_{FB} < (1.2 \text{ V} - 100 \text{ mV})$  are satisfied, the controller discharges the SS2 pin using a fast current sink (200  $\mu\text{A}$ ) to make the SS2 pin equal to the FB pin. The controller then attempts to perform a soft start from this precharged condition, that is, from the last known value of the output voltage. This process is how the OCP/feedback recovery feature operates.

However, if at any time the voltage on the COMP pin is above the maximum clamp voltage for a period greater than 1.5 ms, the system enters hiccup mode.

During the soft start from precharge, the output voltage rises at the same rate as determined by the capacitor on the SS2 pin. The SS2 pin voltage determines the current limit during this period. If, however, there is a detrimental fault in the power stage that prevents the rise of the output voltage,  $V_{FB}$  does not track SS2 and when  $SS2 > (V_{FB} + 100 \text{ mV})$ , the COMP pin voltage increases to the clamp level and the system again enters the OCP/feedback recovery mode.

## OUTPUT VOLTAGE TRACKING

The ADP1071-1/ADP1071-2 offer a tracking feature. During steady state, the FB pin is at 1.2 V. At this time, the SS2 pin voltage is at 1.4 V. Using an external digital-to-analog converter (DAC), the voltage on the SS2 pin can modulate the output voltage. It is recommended that the SS2 pin voltage be changed only after the VDD2 UVLO point is crossed, and control is handed over to the secondary side, or else the handover process does not occur smoothly, resulting in glitches in the output voltage.

The SS2 voltage must be brought down from 1.4 V to 1.2 V, and it must be brought down even further to effect any change in the output voltage. The rate at which the output tracks the SS2 pin is dependent upon the overall system bandwidth.

## REMOTE SYSTEM RESET

For a remote (secondary side) system shutdown, an open-drain general-purpose input/output (GPIO) of an external microcontroller can be used to force the SS2 pin to 0 V.

This pull-down causes the ADP1071-1/ADP1071-2 to regulate to 0 V, and the ADP1071-1/ADP1071-2 enter pulse skip mode or output a minimum duty cycle because the SS2 pin offsets because of the finite resistance of the GPIO.

When the VDD2 is charged from the output bus, this setup is equivalent to a system shutdown because when  $VDD2 < VDD2 \text{ UVLO}$ , the ADP1071-1/ADP1071-2 enter a special hiccup mode of 200 ms, (instead of the standard 40 ms hiccup).

When VDD2 is powered using auxiliary winding, the system regulates to the voltage proportional to the voltage on the SS2 pin and eventually enters the special hiccup mode previously mentioned, after the auxiliary rail decays below the VDD2 UVLO threshold.

Therefore, the SS2 pin can achieve output tracking as well as a secondary side shutdown, also known as remote system reset, as shown in Figure 21.

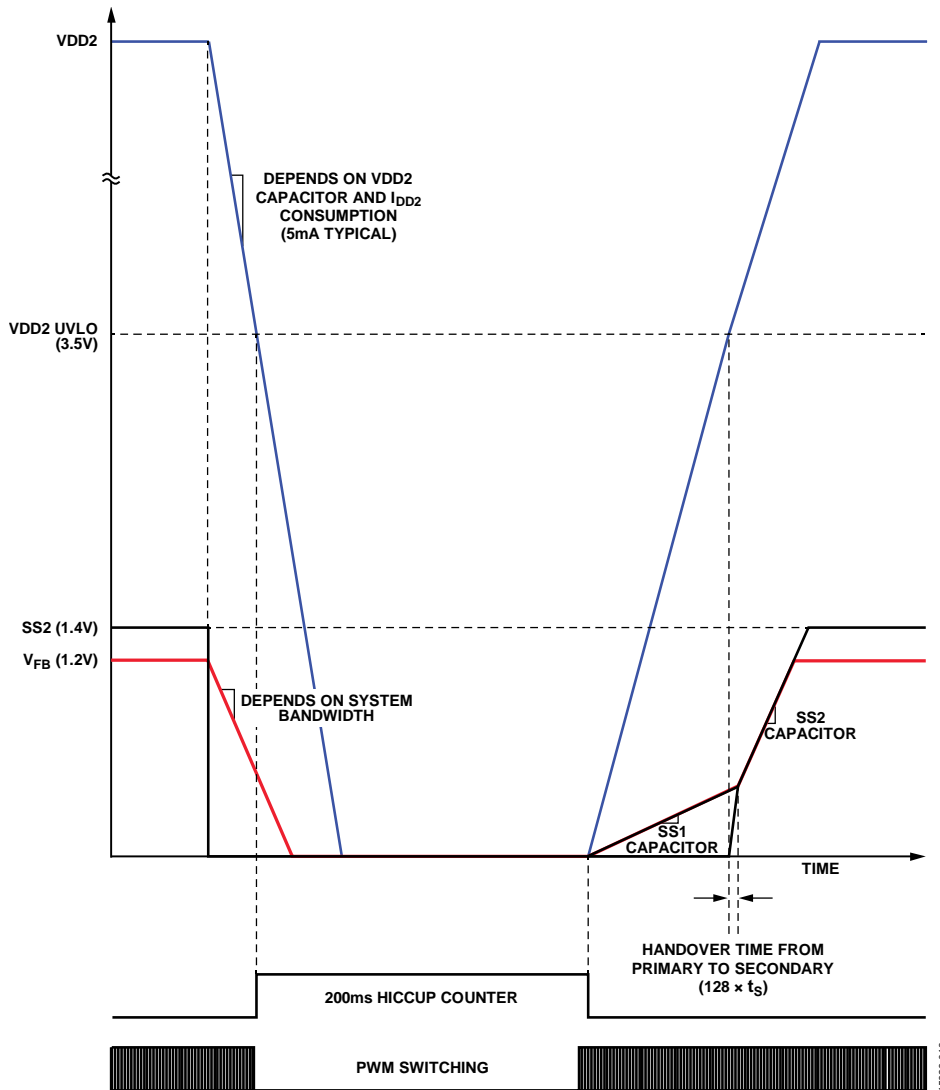


Figure 21. Remote Software Reset with 200 ms Hiccup

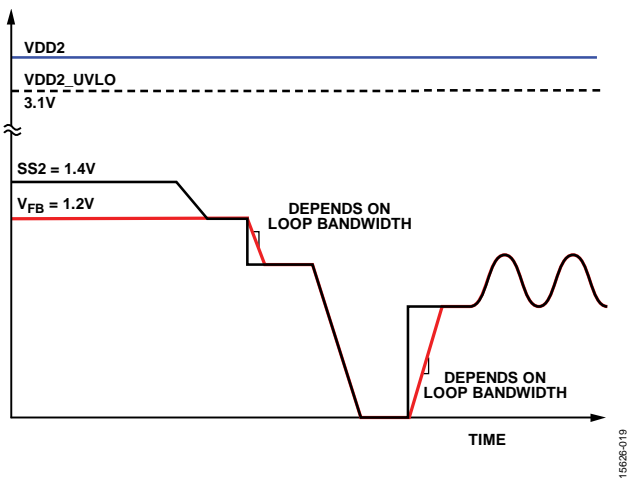


Figure 22. Tracking with SS2 Pin

### OCP COUNTER

During overload conditions when the peak sensed currents exceed the OCP threshold voltage of 120 mV on the CS pin, the ADP1071-1/ADP1071-2 immediately terminate the remainder of the PWM pulse. If the peak sense current continues to exceed the threshold every switching period for 1.5 ms, the system enters hiccup mode, by which it shuts down for approximately 40 ms and then soft starts. During an exceeded overcurrent situation, such as a dead short, it is likely that the programmed slope compensation is not enough, and therefore, the system enters subharmonic oscillation. If this is the case, the system cannot enter hiccup mode because the OCP threshold is crossed every alternate switching period, and the 1.5 ms hiccup counter resets.

To prevent this scenario, the ADP1071-1/ADP1071-2 latch the last known state, whereby if an OCP condition registered as a 1 in one switching period and as a 0 in the next switching period, it is still counted as a 1. In this manner, the system can enter

hiccup mode even in subharmonic oscillation. Missing two OCP thresholds consecutively resets the hiccup counter.

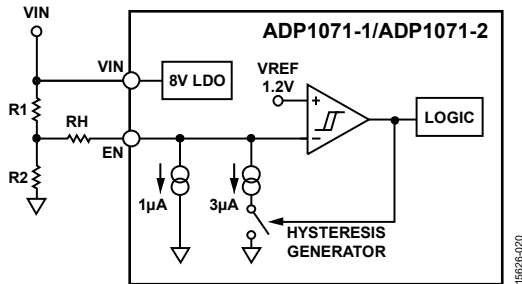


Figure 23. Precision EN with Adjustable Hysteresis

**EXTERNAL START-UP CIRCUIT**

For input voltages higher than 36 V, in which the power dissipation in the internal 8 V LDO can be significant, the use of an external start-up circuit is recommended. (See Figure 24 for an example.) In this case, the VIN and VREG1 pins are shorted together and connect to the output of the start-up circuit. Because the input pre-enable bias current, the VIN and VREG1 start-up current, is approximately 160 µA, the output of the start-up circuit must be able to provide this level of current in order to soft start. The auxiliary winding then provides the bias voltage, shutting off the start-up circuit after soft start completes.

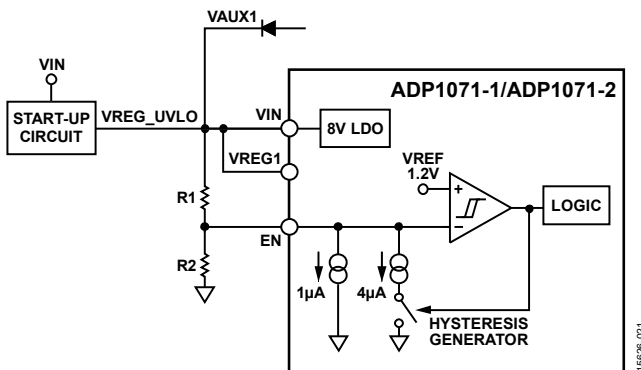


Figure 24. Precision EN Circuit Connection with an External Start-Up Circuit

A fast start-up circuit is shown in Figure 25. This circuit requires two components: a Zener diode, which sets up the start-up voltage at the VIN and VREG1 pin, and a negative positive negative (NPN) transistor, which sets up a fast current path for charging up the start-up capacitor, C1. The start-up current through R1 must be more than 160 µA, which is the minimum specified start-up current, and the start-up voltage at VREG1 and VIN must be approximately 8 V to 13 V. The auxiliary winding then provides the bias voltage, shutting off the NPN transistor after the soft start completes.

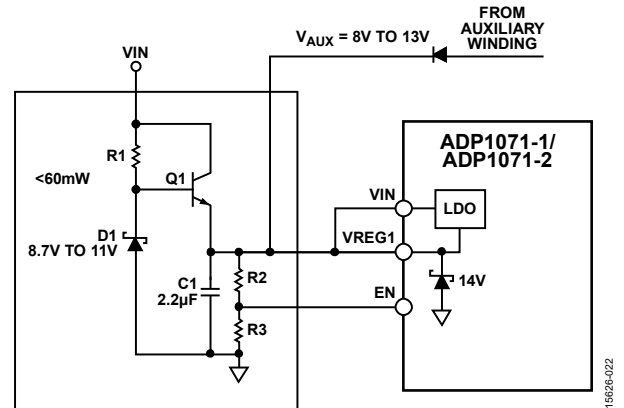


Figure 25. Fast Start-Up Circuit

**INSULATION LIFETIME**

All insulation structures eventually break down when subjected to voltage stress over a sufficiently long period. The rate of insulation degradation is dependent upon the characteristics of the voltage waveform applied across the insulation. In addition to the testing performed by the regulatory agencies, Analog Devices carries out an extensive set of evaluations to determine the lifetime of the insulation structure within the ADP1071-1/ADP1071-2.

Analog Devices performs accelerated life testing using voltage levels higher than the rated continuous working voltage. Acceleration factors for several operating conditions are determined. These factors allow calculation of the time to failure at the actual working voltage.

The values shown in Table 7 and Table 8 summarize the peak voltage for 50 years of service life for a bipolar ac operating condition. In many cases, the approved working voltage is higher than the 50-year service life voltage. Operation at these high working voltages can lead to shortened insulation life in some cases.

The ADP1071-1/ADP1071-2 insulation lifetime depends on the voltage waveform type imposed across the isolation barrier. The iCoupler insulation structure degrades at different rates depending on whether the waveform is bipolar ac, unipolar ac, or dc. Figure 26, Figure 27, and Figure 28 show these different isolation voltage waveforms.

A bipolar ac voltage environment is the worst case for the iCoupler products yet meets the 50-year operating lifetime recommended by Analog Devices for maximum working voltage. In the case of unipolar ac or dc voltage, the stress on the insulation is significantly lower. The low stress allows operation at higher working voltages while still achieving a 50-year service life. Treat any cross insulation voltage waveform that does not conform to Figure 27 or Figure 28 as a bipolar ac waveform, and limit its peak voltage to the 50-year lifetime voltage value listed in Table 7 and Table 8.

Note that the voltage presented in Figure 27 is shown as sinusoidal for illustration purposes only. It is meant to represent

any voltage waveform varying between 0 V and some limiting value. The limiting value can be positive or negative, but the voltage cannot cross 0 V.

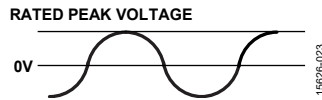


Figure 26. Bipolar AC Waveform

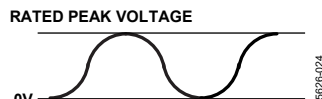


Figure 27. Unipolar AC Waveform

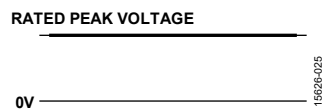


Figure 28. DC Waveform

## LAYOUT GUIDELINES

The layout guidelines for the primary side are as follows:

1. Ground all the capacitors to their respective grounds. For example, ground the VREG1 capacitor to AGND1.
2. Use the CS pin and the AGND1 pin to differentially sense the primary current measurement through the sense

resistor. Do not cross the CS and AGND1 traces for current sensing across any switch nodes.

3. Place a capacitor (33 pF to 470 pF typical) close to the CS pin, connected to AGND1.
4. Place resistors (1  $\Omega$  to 5  $\Omega$  typical) in series with GATE and the main power MOSFET. These resistors aid in eliminating any ringing on the drive voltages. Use a 100 nF capacitor on the MODE pin if LLM is used in noisy environments.
5. Ensure that RT pin resistor is Kelvin connected to AGND1 and not to a ground plane to avoid noise pickup.

The layout guidelines for the secondary side are as follows:

1. Ground all the capacitors to their respective grounds. For example, ground the SS2 capacitor to AGND2.
2. Place resistors (1  $\Omega$  to 5  $\Omega$ ) in series with SRx and the synchronous MOSFET. These resistors aid in eliminating any ringing on the drive voltages.
3. The ground plane on the secondary side must be connected to AGND2. The negative terminal of the output voltage must be Kelvin connected to the AGND2 pin.
4. Use the FB pin and the AGND2 pin to remotely differentially sense the output voltage by connecting AGND2 to the negative terminal of the output voltage using a 0  $\Omega$  resistor.

APPLICATIONS INFORMATION

TYPICAL APPLICATION CIRCUITS

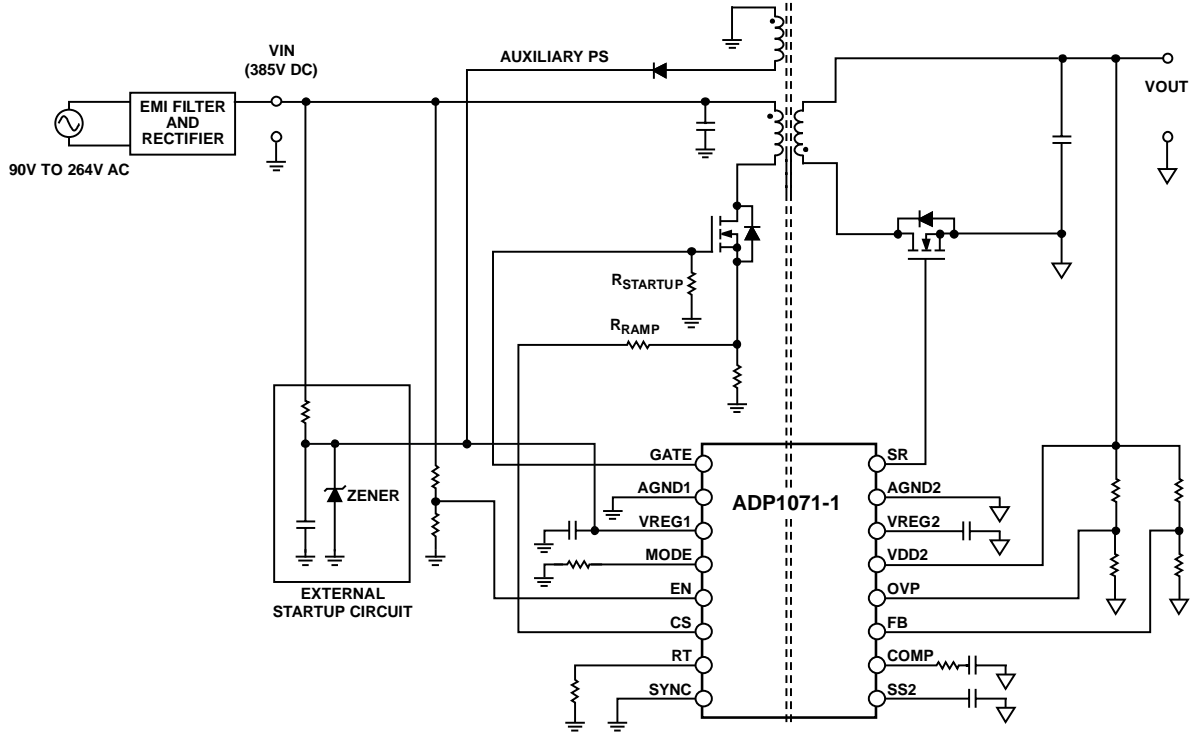


Figure 29. ADP1071-1 Typical Application with External Start-Up Circuit and Auxiliary Power

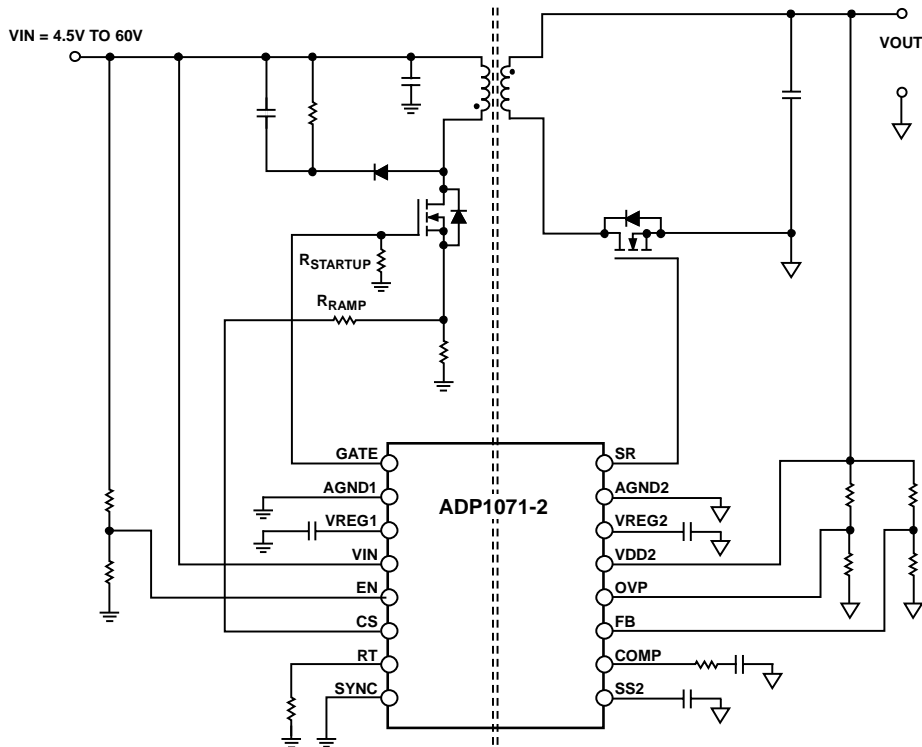
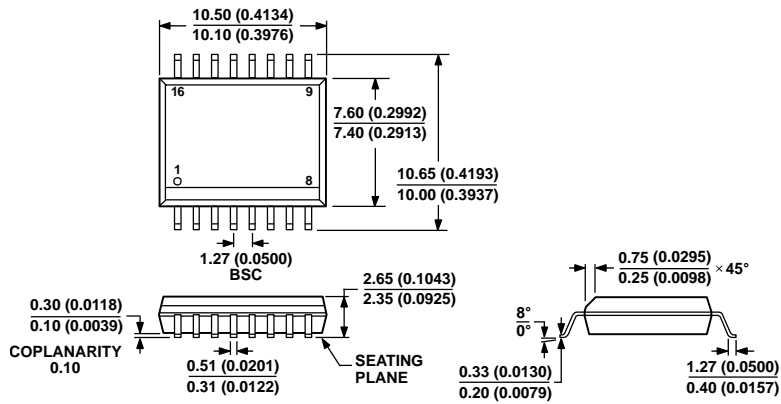


Figure 30. ADP1071-2 Low Input Voltage Flyback Application Circuit

OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-013-AA  
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS  
 (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR  
 REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

06-27-2007-B

Figure 31. 16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC\_W]  
 Wide-Body  
 (RW-16)

Dimensions shown in millimeters and (inches)

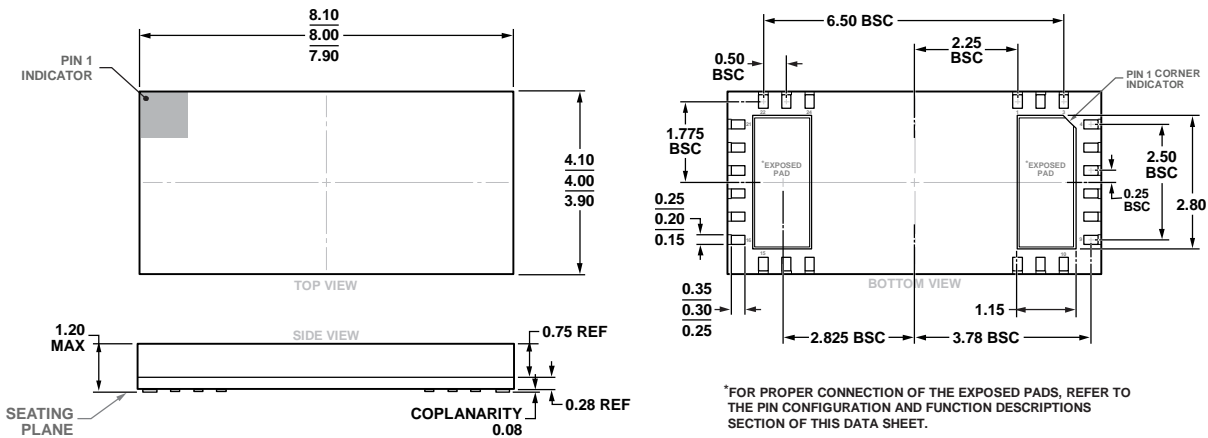


Figure 32. 24-Terminal Land Grid Array [LGA]  
 (CC-24-6)

Dimensions shown in millimeters

10-30-2018-B

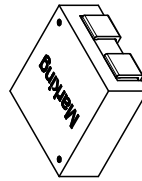
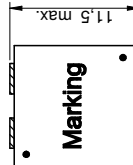
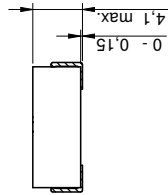
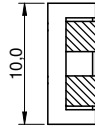
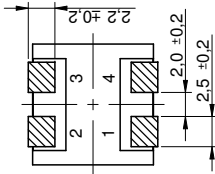
## ORDERING GUIDE

Model <sup>1</sup>	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADP1071-1ARWZ	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-1ARWZ-RL	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-1ARWZ-R7	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-1ACCZ	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-1ACCZ-RL	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-1ACCZ-R7	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-2ARWZ	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-2ARWZ-RL	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-2ARWZ-R7	-40°C to +125°C	16-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_W]	RW-16
ADP1071-2ACCZ	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-2ACCZ-RL	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-2ACCZ-R7	-40°C to +125°C	24-Terminal Land Grid Array [LGA]	CC-24-6
ADP1071-1EVALZ		ADP1071-1 Evaluation Board with Wide-Body IC	
ADP1071-2EBZ12.1V		ADP1071-2 Evaluation Board with Wide-Body IC	

<sup>1</sup> Z = RoHS Compliant Part.

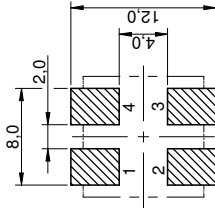
## A.2 Transformator

Dimensions: [mm]



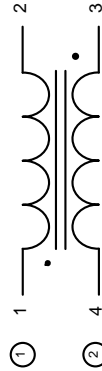
Scale 2:1

Recommended Land Pattern: [mm]



Scale 2:1

Schematic:



### General Information:

It is recommended that the temperature of the component does not exceed +125 °C under worst case conditions

Ambient Temperature (referring to I <sub>p</sub> )	-40 up to +85 °C
Operating Temperature	-40 up to +125 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C ; < 75 % RH
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1

Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 33 % RH if not specified differently

### Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance 1	L <sub>1</sub> 100 kHz/ 100 mV	8.2	µH	±20%
Inductance 2	L <sub>2</sub> 100 kHz/ 100 mV	8.2	µH	±20%
Rated Current 1	I <sub>R1</sub> ΔT = 40 K	4.7	A	max.
Rated Current 2	I <sub>R2</sub> ΔT = 40 K	4.7	A	max.
Saturation Current 1	I <sub>SAT1</sub> ΔI/ΔI < 30 %	11.3	A	typ.
Saturation Current 2	I <sub>SAT2</sub> ΔI/ΔI < 30 %	11.3	A	typ.
DC Resistance 1	R <sub>DC</sub> @ 20 °C	41.2	mΩ	typ.
DC Resistance 2	R <sub>DC</sub> @ 20 °C	46	mΩ	max.
DC Resistance 2	R <sub>DC</sub> @ 20 °C	41.2	mΩ	typ.
DC Resistance 2	R <sub>DC</sub> @ 20 °C	46	mΩ	max.
Self Resonant Frequency	f <sub>res</sub>	10	MHz	typ.
Turns Ratio	n	1:1		
Rated Voltage	V <sub>R</sub>	60	V (DC)	max.
Leakage Inductance	L <sub>S</sub>	0.25	µH	typ.
Coupling Coefficient	K	0.98		typ.

### Product Marking:

Start of Winding	•
Marking	082 (Inductance Code)



WÜRTH Elektronik eSOS GmbH & Co. KG  
 EMC & Inductive Solutions  
 74638 Würzburg  
 Germany  
 Tel.: +49 (0) 79 42 945 - 0  
 www.wue-online.com  
 info@wue-online.com

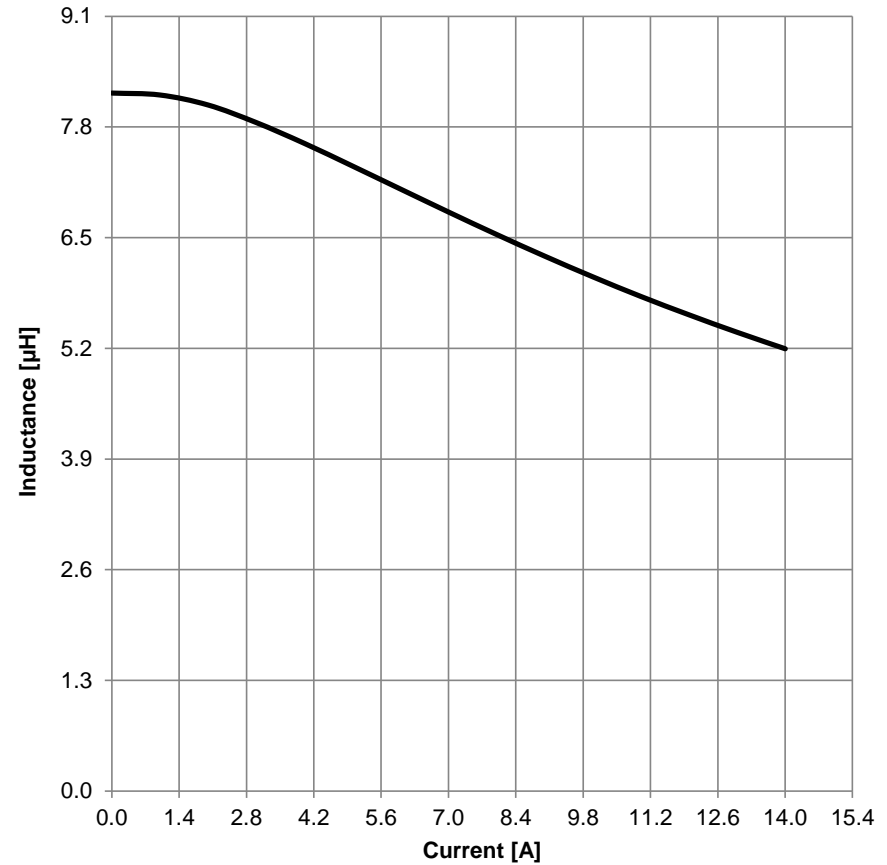
ORDER CODE	7448991082
DESCRIPTION	WE-MCRI SMT Molded Coupled Inductor
GENERAL TOLERANCE	DIN ISO 2768-1m
DATE (YY/MM/DD)	2019-10-21
PERSON	001.001
CHECKED	APp
PROJECTION METHOD	
STATUS	Valid
BUSINESS UNIT	eSOS
SIZE TYPE	1040
PAGE	1/7

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability is required, especially in aircraft, spacecraft, nuclear power, medical, public information network etc. Würth Elektronik eSOS GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eSOS GmbH & Co. KG must be informed about the intent of such usage before the design is signed. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

**Certification:**

RoHS Approval	Compliant [ 2011/65/EU&2015/863 ]
REACH Approval	Conform or declared [ (EC)1907/2006 ]
Halogen Free	Conform [ JEDEC JS709B ]
Halogen Free	Conform [ IEC 61249-2-21 ]

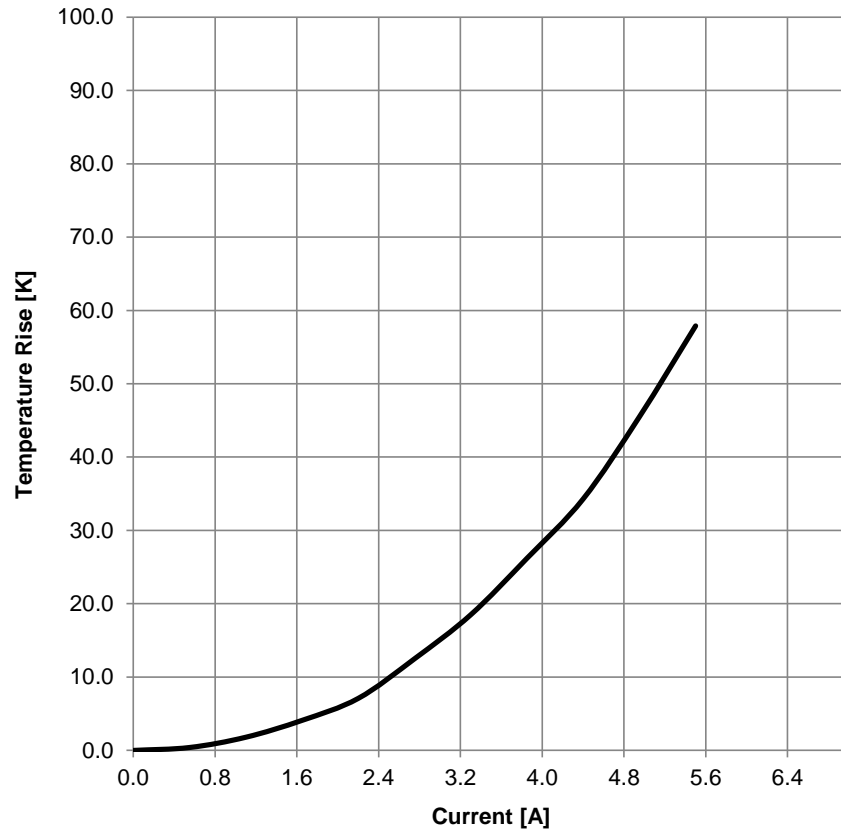
**Typical Inductance vs. Current Characteristics:**



	CHECKED ArPa	REVISION 001.001	DATE (YYYY-MM-DD) 2019-10-21	GENERAL TOLERANCE DIN ISO 2768-1m	PROJECTION METHOD 
	DESCRIPTION <b>WE-MCRI SMT Molded Coupled Inductor</b>				ORDER CODE <b>7448991082</b>
	Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.we-online.com eiSos@we-online.com				
	SIZE/TYPE 1040	BUSINESS UNIT eiSos	STATUS Valid	PAGE 2/7	

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc.. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

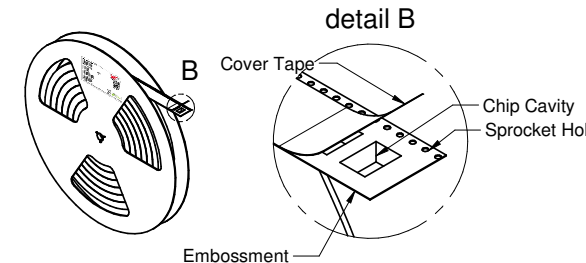
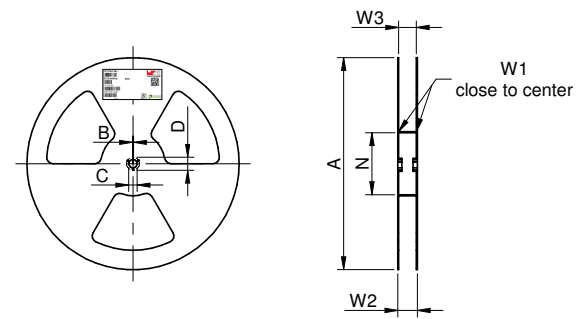
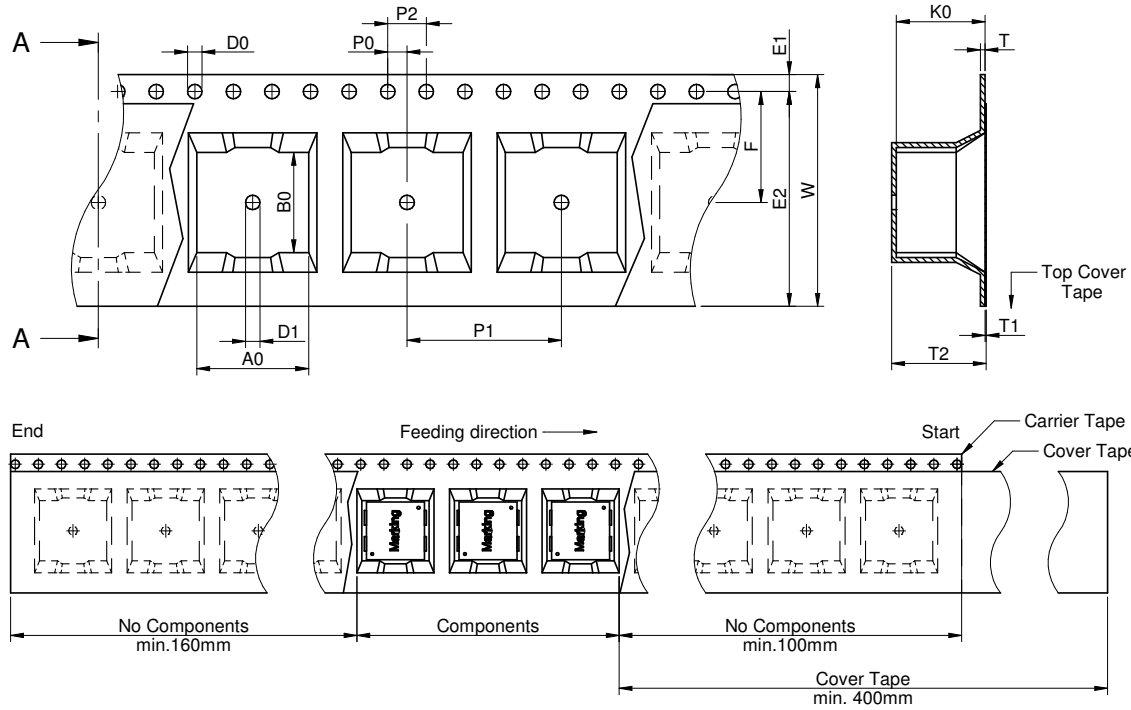
**Typical Temperature Rise vs. Current Characteristics:**



	CHECKED ArPa	REVISION 001.001	DATE (YYYY-MM-DD) 2019-10-21	GENERAL TOLERANCE DIN ISO 2768-1m	PROJECTION METHOD 
	DESCRIPTION <b>WE-MCRI SMT Molded Coupled Inductor</b>				ORDER CODE <b>7448991082</b>
	Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.we-online.com eiSos@we-online.com				
	SIZE/TYPE 1040	BUSINESS UNIT eiSos	STATUS Valid	PAGE 3/7	

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc.. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

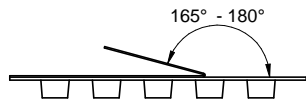
# Packaging Specification - Tape and Reel: [mm]



packaging is referred to the international standard IEC 60286-3:2013

Tape Type	A0 (mm)	B0 (mm)	W (mm)	T (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)	K0 (mm)	P0 (mm)	P1 (mm)	P2 (mm)	D0 (mm)	D1 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	F (mm)	Material	Qty. (pcs.)
2a	11,40	10,25	24,00	0,40	0,10	4,30	4,10	4,00	16,00	2,00	1,50	1,50	1,75	22,25	11,50	Polystyrene	800

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	N (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	W3 (mm)	Material
± 2,0	min.	min.	min.	± 2,0	+ 2,0	max.	min.	max.	Polystyrene/ Polyurethane
330,00	1,50	12,80	20,20	60,00	24,40	30,40	23,90	27,40	



Pull-of force	
Tape width	24 mm
	0,1 N - 1,3 N

	CHECKED ArPa	REVISION 001.001	DATE (YYYY-MM-DD) 2019-10-21	GENERAL TOLERANCE DIN ISO 2768-1m	PROJECTION METHOD 		
	DESCRIPTION <b>WE-MCRI SMT Molded Coupled Inductor</b>				ORDER CODE <b>7448991082</b>		
	Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0 www.we-online.com eiSos@we-online.com			SIZE/TYPE 1040	BUSINESS UNIT eiSos	STATUS Valid	PAGE 4/7

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc.. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

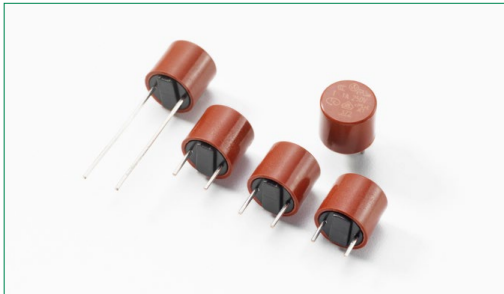
## A.3 Sicherung



### Axial Lead & Cartridge Fuses

TR5® > Time-Lag Fuse > 372 Series

#### 372 Series, TR5 Fuse, Time Lag



#### Description

The 372 Series are TR5® Fuses, Time-Lag type, 250V rated fuses, that are designed in accordance to IEC 60127-3.

#### Features

- Halogen free, Lead-free and RoHS compliant
- Reduced PCB space requirements
- Direct solderable or plug-in versions
- Internationally approved
- Low internal resistance
- Shock safe casing
- Vibration resistant
- Available from 0.040A to 6.3A
- Recognized to UL/CSA/NMX 248-1 and UL/CSA/NMX 248-14
- Conforms to EN/J/K 60127-1 and EN/J/K 60127-3
- Conforms to GB/T 9364.1 and GB/T 9364.3
- CE Mark indicates compliance with Low-Voltage and RoHS Directives.

#### Applications

- Battery Chargers
- Consumer electronics
- Power supplies
- Industrial Controllers

#### Agency Approvals

Agency	Agency File Number	Ampere Range
	97187 116448	0.050A - 4A 5A - 6.3A
	JET1896-31007-2002	1A - 5A
	E67006	0.040A - 6.3A
	N/A	0.125A - 20A
	SU05024-7010 SU05024-7011 SU05024-7006 SU05024-7007 SU05024-7008 SU05024-7009 SU05024-7012	0.050 - 0.100A 0.125 - 0.800A 1A - 2.5A 3.15A 4A 5A 6.3A
	2020970207000055	0.040A - 6.3A

#### Electrical Characteristics

% of Ampere Rating	Opening Time
150%	1 Hour, <b>Min.</b>
210%	2 Minutes, <b>Max.</b>
275%	400 ms, <b>Min.</b> ; 10 Sec., <b>Max.</b>
400%	150 ms, <b>Min.</b> ; 3 Sec., <b>Max.</b>
1000%	20 ms, <b>Min.</b> ; 150 ms, <b>Max.</b>

#### Additional Information



Datasheet



Resources



Samples

**Electrical Characteristics**

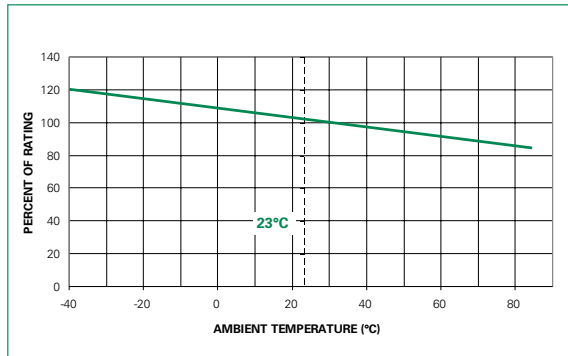
Amp Code	Rated Current	Voltage Rating	Breaking Capacity	Nominal Cold Resistance (Ohms)	Voltage Drop 1.0xI <sub>N</sub> max. (mV)	Power Dissipation 1.5xI <sub>N</sub> max. (mW)	Melting Integral 10xI <sub>N</sub> min. (A <sup>2</sup> s)	Agency Approvals					
0040	40mA	250V	35A@250VAC	10.1650	900	90	0.0090	-	X	-	-	-	-
0050	50mA	250V		6.4950	500	70	0.0108	X	X	-	X	X	X
0063	63mA	250V		3.8000	400	80	0.0278	X	X	-	X	X	X
0080	80mA	250V		2.8750	370	100	0.0384	X	X	-	X	X	X
0100	100mA	250V		1.7030	300	110	0.0800	X	X	-	X	X	X
0125	125mA	250V		1.3500	260	120	0.1094	X	X	-	X	X	X
0160	160mA	250V		0.7780	200	130	0.1792	X	X	-	X	X	X
0200	200mA	250V		0.5750	170	140	0.3120	X	X	-	X	X	X
0250	250mA	250V		0.4000	150	150	0.4938	X	X	-	X	X	X
0315	315mA	250V		0.2760	140	160	0.3969	X	X	-	X	X	X
0400	400mA	250V		0.2050	130	170	1.4080	X	X	-	X	X	X
0500	500mA	250V		0.1550	125	180	2.0000	X	X	-	X	X	X
0630	630mA	250V		0.1150	120	200	3.0958	X	X	-	X	X	X
0800	800mA	250V		0.1000	110	220	5.7600	X	X	-	X	X	X
1100	1.00A	250V		0.0790	110	360	7.5000	X	X	-	X	X	X
1125	1.25A	250V		0.0550	95	450	13.7500	X	X	-	X	X	X
1160	1.60A	250V		0.0420	95	450	19.9680	X	X	-	X	X	X
1200	2.00A	250V		0.0300	85	600	30.0000	X	X	-	X	X	X
1250	2.50A	250V		0.0220	80	700	35.0000	X	X	-	X	X	X
1315	3.15A	250V		0.0173	80	1100	77.3955	X	X	-	X	X	X
1400	4.00A	250V	40A / 250 VAC	0.0129	75	1200	126.4000	X	X	-	X	X	X
1500	5.00A	250V	50A / 250 VAC	0.0094	80	1300	115.0000	X	X	-	X	X	X
1630	6.30A*	250V		0.0070	58	1250	138.9150	X	X	-	X	X	X

1 Per UL, approved breaking capacity is 50 A at 250 V.  
\* Conducting path min. 0.2 mm<sup>2</sup>

**Notes:**

- 1) 1.00 means the number one with two decimal places. 1,000 means the number one thousand.
- 2) Resistance is measured at 10% of rated current, 25°C.

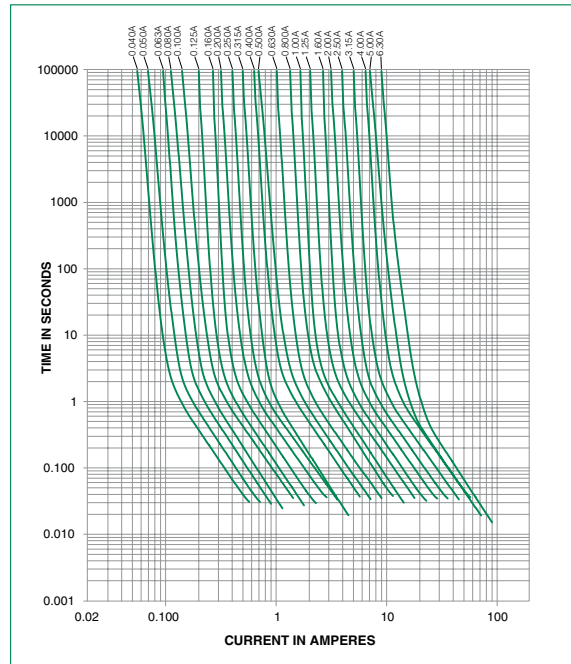
**Temperature Re-rating Curve**



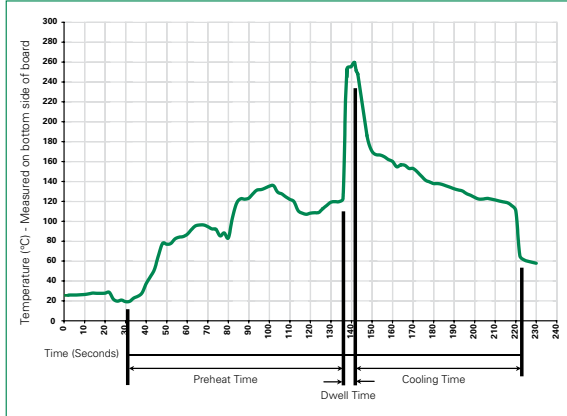
**Note**

- 1. Rerating depicted in this curve is in addition to the standard derating of 25% for continuous operation.

**Average Time Current Curves**



**Soldering Parameters - Wave Soldering**



**Recommended Process Parameters:**

Wave Parameter	Lead-Free Recommendation
Preheat: (Depends on Flux Activation Temperature)	(Typical Industry Recommendation)
Temperature Minimum:	100°C
Temperature Maximum:	150°C
Preheat Time:	60-180 seconds
Solder Pot Temperature:	260°C Maximum
Solder Dwell Time:	2-5 seconds

**Recommended Hand-Solder Parameters:**

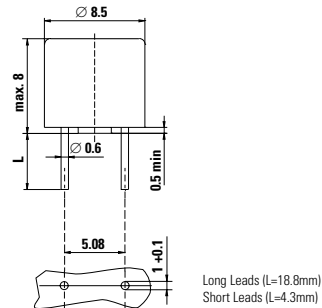
Solder Iron Temperature: 350°C +/- 5°C  
Heating Time: 5 seconds max.

**Note:** These devices are not recommended for IR or Convection Reflow process.

**Product Characteristics**

<b>Materials</b>	Base/Cap: Brown Thermoplastic Polyamide PA 6.6, UL 94 V-0 Round Pins: Copper, Tin-plated
<b>Lead Pull Strength</b>	10 N (IEC 60068-2-21)
<b>Solderability</b>	260°C, ≤ 3s. (Wave) 350°C, ≤ 1s. (Soldering Iron)
<b>Soldering Heat Resistance</b>	260°C, 10s. (IEC 60068-2-20) 350°C, 3s. (Soldering Iron)
<b>Operating Temperature</b>	-40°C to +85°C (Consider re-rating)
<b>Climatic Category</b>	-40°C/+85°C/21 days (IEC 60068-1,-2-1,-2-2,-2-78)
<b>Stock Conditions</b>	+10°C to +60°C RH ≤ 75% yearly average, without dew, maximum value for 30 days-95%
<b>Vibration Resistance</b>	24 cycles at 15 min. each (IEC 60068-2-6) 10 - 60 Hz at 0.75 mm amplitude 60 - 2000 Hz at 10G's acceleration

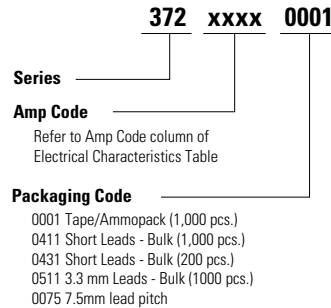
**Dimensions**



**Packaging**

Packaging Option	Packaging Specification	Quantity	Quantity & Packaging Code	Taping Width
<b>372 Series</b>				
Tape & Ammopack	N/A	1,000	0001	N/A
Short Leads	N/A	1,000	0411	N/A
Short Leads	N/A	200	0431	N/A
3.3mm Leads	N/A	1,000	0511	N/A

**Part Numbering System**



## A.4 Z-Diode



DATA SHEET  
www.onsemi.com

# 5 Watt Surmetic 40 Zener Voltage Regulators 1N53 Series

This is a complete series of 5 Watt Zener diodes with tight limits and better operating characteristics that reflect the superior capabilities of silicon-oxide passivated junctions. All this in an axial lead, transfer-molded plastic package that offers protection in all common environmental conditions.

### Features

- Zener Voltage Range – 3.3 V to 200 V
- ESD Rating of Class 3 (>16 kV) per Human Body Model
- Surge Rating of up to 180 W @ 8.3 ms
- Maximum Limits Guaranteed on up to Six Electrical Parameters
- Pb-Free Packages are Available\*

### Mechanical Characteristics

**CASE:** Void free, transfer-molded, thermosetting plastic

**FINISH:** All external surfaces are corrosion resistant and leads are readily solderable

**MAXIMUM LEAD TEMPERATURE FOR SOLDERING PURPOSES:** 260°C, 1/16 in. from the case for 10 seconds

**POLARITY:** Cathode indicated by polarity band

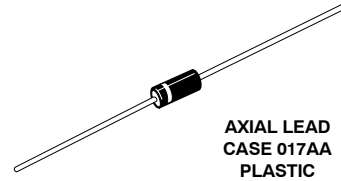
**MOUNTING POSITION:** Any

### MAXIMUM RATINGS

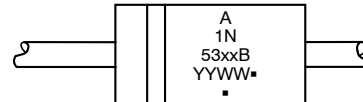
Rating	Symbol	Value	Unit
Max. Steady State Power Dissipation @ $T_L = 25^\circ\text{C}$ , Lead Length = 3/8 in Derate above 25°C	$P_D$	5	W
		40	mW/°C
Junction-to-Lead Thermal Resistance	$\theta_{JL}$	25	°C/W
Operating and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +200 (Note 1)	°C

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Max operating temperature for DC conditions is 150°C, but not to exceed 200°C for pulsed conditions with low duty cycle or non-repetitive.



### MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location  
1N53xxB = Device Number  
(Refer to Tables on Pages 3 & 4)  
YY = Year  
WW = Work Week  
▪ = Pb-Free Package  
(Note: Microdot may be in either location)

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
1N53xxB, G	Axial Lead (Pb-Free)	1000 Units/Box
1N53xxBRL, G	Axial Lead (Pb-Free)	4000/Tape & Reel

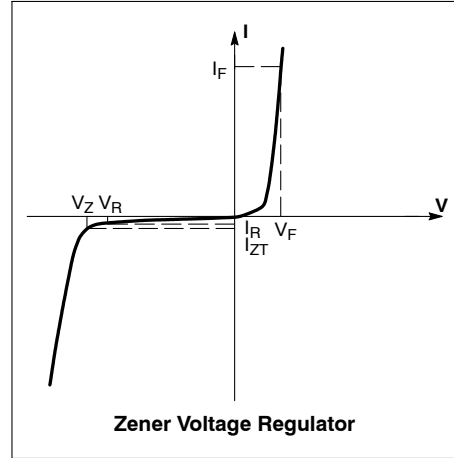
†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the onsemi Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

## 1N53 Series

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted,  $V_F = 1.2\text{ V Max @ } I_F = 1.0\text{ A}$  for all types)

Symbol	Parameter
$V_Z$	Reverse Zener Voltage @ $I_{ZT}$
$I_{ZT}$	Reverse Current
$Z_{ZT}$	Maximum Zener Impedance @ $I_{ZT}$
$I_{ZK}$	Reverse Current
$Z_{ZK}$	Maximum Zener Impedance @ $I_{ZK}$
$I_R$	Reverse Leakage Current @ $V_R$
$V_R$	Breakdown Voltage
$I_F$	Forward Current
$V_F$	Forward Voltage @ $I_F$
$I_R$	Maximum Surge Current @ $T_A = 25^\circ\text{C}$
$\Delta V_Z$	Reverse Zener Voltage Change
$I_{ZM}$	Maximum DC Zener Current



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted,  $V_F = 1.2\text{ V Max @ } I_F = 1.0\text{ A}$  for all types)

Device† (Note 2)	Device Marking	Zener Voltage (Note 3)			Zener Impedance (Note 3)			Leakage Current		$I_R$ (Note 4) A	$\Delta V_Z$ (Note 5) Volts	$I_{ZM}$ (Note 6) mA	
		$V_Z$ (Volts)			@ $I_{ZT}$	$Z_{ZT}$ @ $I_{ZT}$	$Z_{ZK}$ @ $I_{ZK}$	$I_{ZK}$	$I_R$ @ $V_R$				
		Min	Nom	Max	mA	$\Omega$	$\Omega$	mA	$\mu\text{A Max}$				Volts
<b>1N5333B</b>	<b>1N5333B</b>	<b>3.14</b>	<b>3.3</b>	<b>3.47</b>	<b>380</b>	<b>3</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>300</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>0.85</b>	<b>1440</b>
1N5334B	1N5334B	3.42	3.6	3.78	350	2.5	500	1	150	1	18.7	0.8	1320
1N5335B	1N5335B	3.71	3.9	4.10	320	2	500	1	50	1	17.6	0.54	1220
1N5336B	1N5336B	4.09	4.3	4.52	290	2	500	1	10	1	16.4	0.49	1100
<b>1N5337B</b>	<b>1N5337B</b>	<b>4.47</b>	<b>4.7</b>	<b>4.94</b>	<b>260</b>	<b>2</b>	<b>450</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>15.3</b>	<b>0.44</b>	<b>1010</b>
<b>1N5338B</b>	<b>1N5338B</b>	<b>4.85</b>	<b>5.1</b>	<b>5.36</b>	<b>240</b>	<b>1.5</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>14.4</b>	<b>0.39</b>	<b>930</b>
<b>1N5339B</b>	<b>1N5339B</b>	<b>5.32</b>	<b>5.6</b>	<b>5.88</b>	<b>220</b>	<b>1</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>13.4</b>	<b>0.25</b>	<b>865</b>
1N5340B	1N5340B	5.70	6.0	6.30	200	1	300	1	1	3	12.7	0.19	790
<b>1N5341B</b>	<b>1N5341B</b>	<b>5.89</b>	<b>6.2</b>	<b>6.51</b>	<b>200</b>	<b>1</b>	<b>300</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>12.4</b>	<b>0.1</b>	<b>765</b>
<b>1N5342B</b>	<b>1N5342B</b>	<b>6.46</b>	<b>6.8</b>	<b>7.14</b>	<b>175</b>	<b>1</b>	<b>200</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>5.2</b>	<b>11.5</b>	<b>0.15</b>	<b>700</b>
1N5343B	1N5343B	7.13	7.5	7.88	175	1.5	200	1	10	5.7	10.7	0.15	630
1N5344B	1N5344B	7.79	8.2	8.61	150	1.5	200	1	10	6.2	10	0.2	580
1N5345B	1N5345B	8.27	8.7	9.14	150	2	200	1	10	6.6	9.5	0.2	545
1N5346B	1N5346B	8.65	9.1	9.56	150	2	150	1	7.5	6.9	9.2	0.22	520
<b>1N5347B</b>	<b>1N5347B</b>	<b>9.50</b>	<b>10</b>	<b>10.5</b>	<b>125</b>	<b>2</b>	<b>125</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7.6</b>	<b>8.6</b>	<b>0.22</b>	<b>475</b>

Devices listed in **bold, italic** are onsemi Preferred devices. Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

- TOLERANCE AND TYPE NUMBER DESIGNATION:** The JEDEC type numbers shown indicate a tolerance of  $\pm 5\%$ .
- ZENER VOLTAGE ( $V_Z$ ) and IMPEDANCE ( $I_{ZT}$  and  $I_{ZK}$ ):** Test conditions for zener voltage and impedance are as follows:  $I_Z$  is applied  $40 \pm 10$  ms prior to reading. Mounting contacts are located  $3/8''$  to  $1/2''$  from the inside edge of mounting clips to the body of the diode ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
- SURGE CURRENT ( $I_R$ ):** Surge current is specified as the maximum allowable peak, non-recurrent square-wave current with a pulse width, PW, of 8.3 ms. The data given in Figure 5 may be used to find the maximum surge current for a square wave of any pulse width between 1 ms and 1000 ms by plotting the applicable points on logarithmic paper. Examples of this, using the 3.3 V and 200 V zener are shown in Figure 6. Mounting contact located as specified in Note 2 ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
- VOLTAGE REGULATION ( $\Delta V_Z$ ):** The conditions for voltage regulation are as follows:  $V_Z$  measurements are made at 10% and then at 50% of the  $I_{ZM}$  max value listed in the electrical characteristics table. The test current time duration for each  $V_Z$  measurement is  $40 \pm 10$  ms. Mounting contact located as specified in Note 2 ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
- MAXIMUM REGULATOR CURRENT ( $I_{ZM}$ ):** The maximum current shown is based on the maximum voltage of a 5% type unit, therefore, it applies only to the B-suffix device. The actual  $I_{ZM}$  for any device may not exceed the value of 5 watts divided by the actual  $V_Z$  of the device.  $T_L = 25^\circ\text{C}$  at  $3/8''$  maximum from the device body.

†The "G" suffix indicates Pb-Free package or Pb-Free packages are available.

## 1N53 Series

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted,  $V_F = 1.2\text{ V Max @ } I_F = 1.0\text{ A}$  for all types)

Device† (Note 7)	Device Marking	Zener Voltage (Note 8)				Zener Impedance (Note 8)				Leakage Current		$I_R$ (Note 9)	$\Delta V_Z$ (Note 10)	$I_{ZM}$ (Note 11)
		$V_Z$ (Volts)			@ $I_{ZT}$	$Z_{ZT}$ @ $I_{ZT}$	$Z_{ZK}$ @ $I_{ZK}$	$I_{ZK}$	$I_R$ @ $V_R$					
		Min	Nom	Max	mA	$\Omega$	$\Omega$	mA	$\mu\text{A Max}$	Volts				
1N5348B	1N5348B	10.45	11	11.55	125	2.5	125	1	5	8.4	8.0	0.25	430	
<b>1N5349B</b>	<b>1N5349B</b>	<b>11.4</b>	<b>12</b>	<b>12.6</b>	<b>100</b>	<b>2.5</b>	<b>125</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>9.1</b>	<b>7.5</b>	<b>0.25</b>	<b>395</b>	
<b>1N5350B</b>	<b>1N5350B</b>	<b>12.35</b>	<b>13</b>	<b>13.65</b>	<b>100</b>	<b>2.5</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9.9</b>	<b>7.0</b>	<b>0.25</b>	<b>365</b>	
1N5351B	1N5351B	13.3	14	14.7	100	2.5	75	1	1	10.6	6.7	0.25	340	
<b>1N5352B</b>	<b>1N5352B</b>	<b>14.25</b>	<b>15</b>	<b>15.75</b>	<b>75</b>	<b>2.5</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>11.5</b>	<b>6.3</b>	<b>0.25</b>	<b>315</b>	
<b>1N5353B</b>	<b>1N5353B</b>	<b>15.2</b>	<b>16</b>	<b>16.8</b>	<b>75</b>	<b>2.5</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>12.2</b>	<b>6.0</b>	<b>0.3</b>	<b>295</b>	
1N5354B	1N5354B	16.15	17	17.85	70	2.5	75	1	0.5	12.9	5.8	0.35	280	
1N5355B	1N5355B	17.1	18	18.9	65	2.5	75	1	0.5	13.7	5.5	0.4	264	
1N5356B	1N5356B	18.05	19	19.95	65	3	75	1	0.5	14.4	5.3	0.4	250	
1N5357B	1N5357B	19	20	21	65	3	75	1	0.5	15.2	5.1	0.4	237	
<b>1N5358B</b>	<b>1N5358B</b>	<b>20.9</b>	<b>22</b>	<b>23.1</b>	<b>50</b>	<b>3.5</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>16.7</b>	<b>4.7</b>	<b>0.45</b>	<b>216</b>	
<b>1N5359B</b>	<b>1N5359B</b>	<b>22.8</b>	<b>24</b>	<b>25.2</b>	<b>50</b>	<b>3.5</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>18.2</b>	<b>4.4</b>	<b>0.55</b>	<b>198</b>	
1N5360B	1N5360B	23.75	25	26.25	50	4	110	1	0.5	19	4.3	0.55	190	
<b>1N5361B</b>	<b>1N5361B</b>	<b>25.65</b>	<b>27</b>	<b>28.35</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>120</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>20.6</b>	<b>4.1</b>	<b>0.6</b>	<b>176</b>	
1N5362B	1N5362B	26.6	28	29.4	50	6	130	1	0.5	21.2	3.9	0.6	170	
1N5363B	1N5363B	28.5	30	31.5	40	8	140	1	0.5	22.8	3.7	0.6	158	
1N5364B	1N5364B	31.35	33	34.65	40	10	150	1	0.5	25.1	3.5	0.6	144	
<b>1N5365B</b>	<b>1N5365B</b>	<b>34.2</b>	<b>36</b>	<b>37.8</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>160</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>27.4</b>	<b>3.5</b>	<b>0.65</b>	<b>132</b>	
1N5366B	1N5366B	37.05	39	40.95	30	14	170	1	0.5	29.7	3.1	0.65	122	
1N5367B	1N5367B	40.85	43	45.15	30	20	190	1	0.5	32.7	2.8	0.7	110	
<b>1N5368B</b>	<b>1N5368B</b>	<b>44.65</b>	<b>47</b>	<b>49.35</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>210</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>35.8</b>	<b>2.7</b>	<b>0.8</b>	<b>100</b>	
1N5369B	1N5369B	48.45	51	53.55	25	27	230	1	0.5	38.8	2.5	0.9	93	
1N5370B	1N5370B	53.2	56	58.8	20	35	280	1	0.5	42.6	2.3	1.0	86	
1N5371B	1N5371B	57	60	63	20	40	350	1	0.5	45.5	2.2	1.2	79	
1N5372B	1N5372B	58.9	62	65.1	20	42	400	1	0.5	47.1	2.1	1.35	76	
1N5373B	1N5373B	64.6	68	71.4	20	44	500	1	0.5	51.7	2.0	1.52	70	
1N5374B	1N5374B	71.25	75	78.75	20	45	620	1	0.5	56	1.9	1.6	63	
1N5375B	1N5375B	77.9	82	86.1	15	65	720	1	0.5	62.2	1.8	1.8	58	
1N5377B	1N5377B	86.45	91	95.55	15	75	760	1	0.5	69.2	1.6	2.2	52.5	
1N5378B	1N5378B	95	100	105	12	90	800	1	0.5	76	1.5	2.5	47.5	
1N5380B	1N5380B	114	120	126	10	170	1150	1	0.5	91.2	1.3	2.5	39.5	
1N5381B	1N5381B	123.5	130	136.5	10	190	1250	1	0.5	98.8	1.2	2.5	36.6	
<b>1N5383B</b>	<b>1N5383B</b>	<b>142.5</b>	<b>150</b>	<b>157.5</b>	<b>8</b>	<b>330</b>	<b>1500</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>114</b>	<b>1.1</b>	<b>3.0</b>	<b>31.6</b>	
1N5384B	1N5384B	152	160	168	8	350	1650	1	0.5	122	1.1	3.0	29.4	
1N5386B	1N5386B	171	180	189	5	430	1750	1	0.5	137	1.0	4.0	26.4	
1N5387B	1N5387B	180.5	190	199.5	5	450	1850	1	0.5	144	0.9	5.0	25	
1N5388B	1N5388B	190	200	210	5	480	1850	1	0.5	152	0.9	5.0	23.6	

Devices listed in **bold, italic** are onsemi Preferred devices. Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

7. **TOLERANCE AND TYPE NUMBER DESIGNATION:** The JEDEC type numbers shown indicate a tolerance of  $\pm 5\%$ .
8. **ZENER VOLTAGE ( $V_Z$ ) and IMPEDANCE ( $I_{ZT}$  and  $I_{ZK}$ ):** Test conditions for zener voltage and impedance are as follows:  $I_Z$  is applied  $40 \pm 10$  ms prior to reading. Mounting contacts are located  $3/8''$  to  $1/2''$  from the inside edge of mounting clips to the body of the diode ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
9. **SURGE CURRENT ( $I_R$ ):** Surge current is specified as the maximum allowable peak, non-recurrent square-wave current with a pulse width, PW, of 8.3 ms. The data given in Figure 5 may be used to find the maximum surge current for a square wave of any pulse width between 1 ms and 1000 ms by plotting the applicable points on logarithmic paper. Examples of this, using the 3.3 V and 200 V zener are shown in Figure 6. Mounting contact located as specified in Note 7 ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
10. **VOLTAGE REGULATION ( $\Delta V_Z$ ):** The conditions for voltage regulation are as follows:  $V_Z$  measurements are made at 10% and then at 50% of the  $I_Z$  max value listed in the electrical characteristics table. The test current time duration for each  $V_Z$  measurement is  $40 \pm 10$  ms. Mounting contact located as specified in Note 7 ( $T_A = 25^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}$ ).
11. **MAXIMUM REGULATOR CURRENT ( $I_{ZM}$ ):** The maximum current shown is based on the maximum voltage of a 5% type unit, therefore, it applies only to the B-suffix device. The actual  $I_{ZM}$  for any device may not exceed the value of 5 watts divided by the actual  $V_Z$  of the device.  $T_L = 25^\circ\text{C}$  at  $3/8''$  maximum from the device body.

†The "G" suffix indicates Pb-Free package or Pb-Free packages are available.

## 1N53 Series

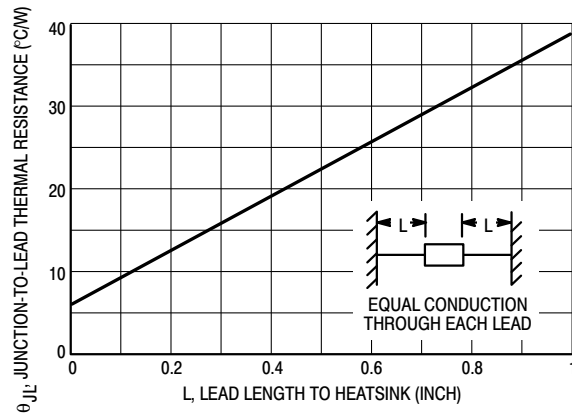


Figure 1. Typical Thermal Resistance

## TEMPERATURE COEFFICIENTS

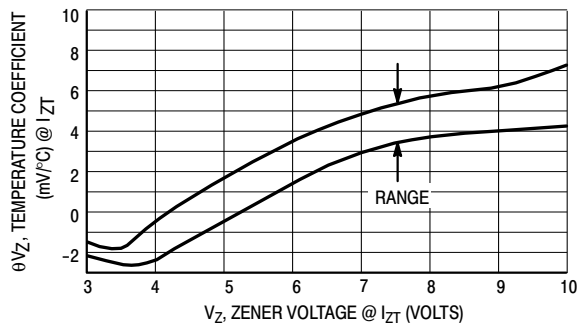


Figure 2. Temperature Coefficient-Range for Units 3 to 10 Volts

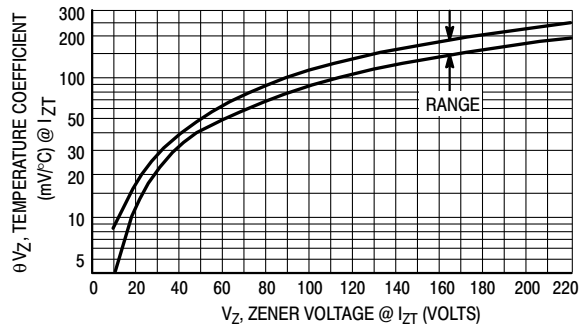
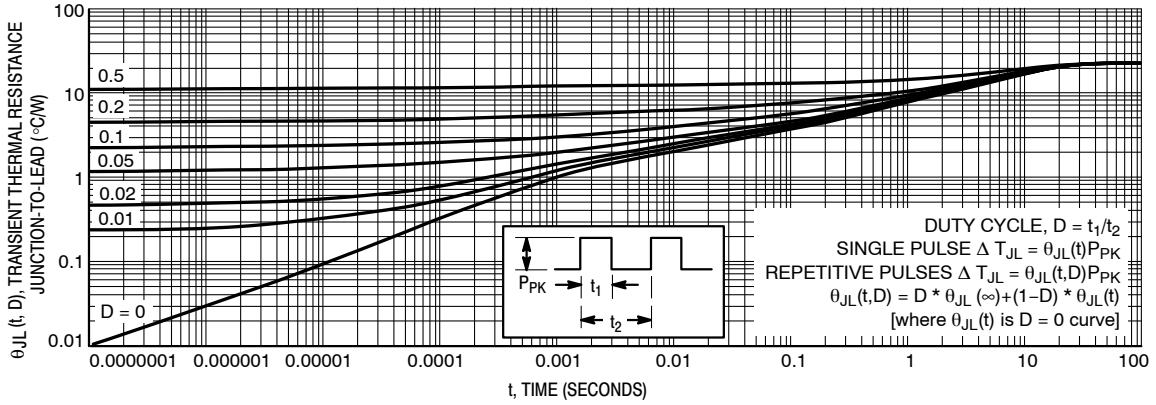
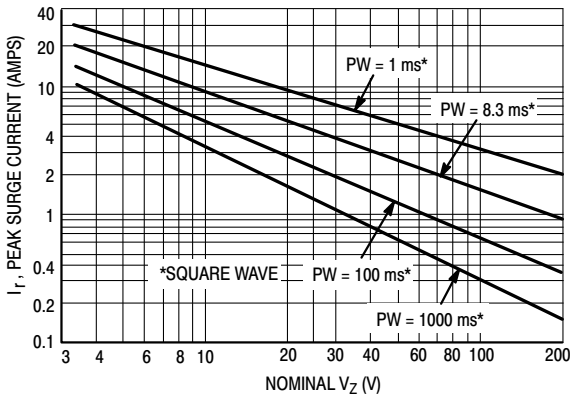


Figure 3. Temperature Coefficient-Range for Units 10 to 220 Volts

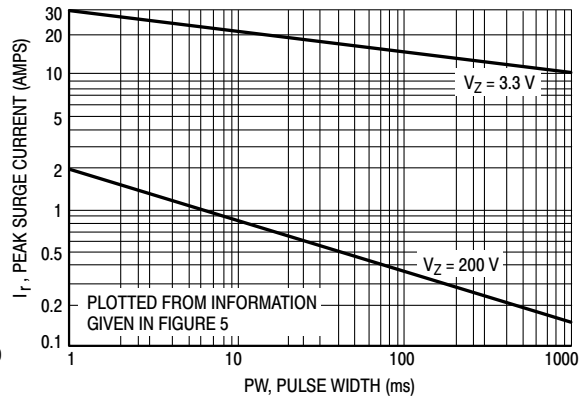
# 1N53 Series



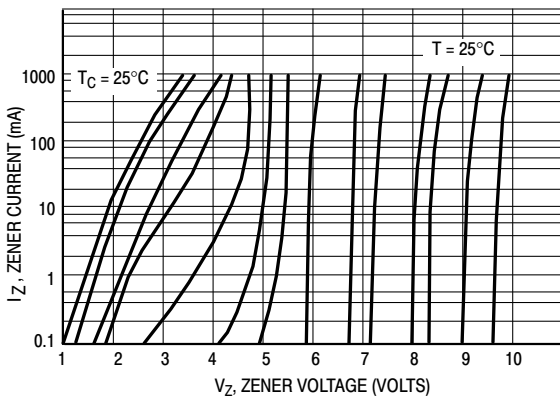
**Figure 4. Typical Thermal Response**  
L, Lead Length = 3/8 Inch



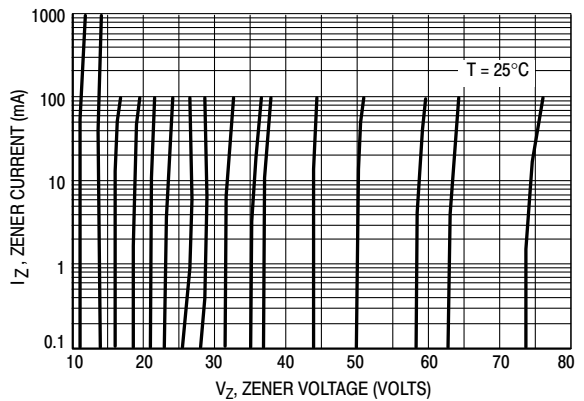
**Figure 5. Maximum Non-Repetitive Surge Current**  
versus Nominal Zener Voltage  
(See Note 4)



**Figure 6. Peak Surge Current versus Pulse Width**  
(See Note 4)

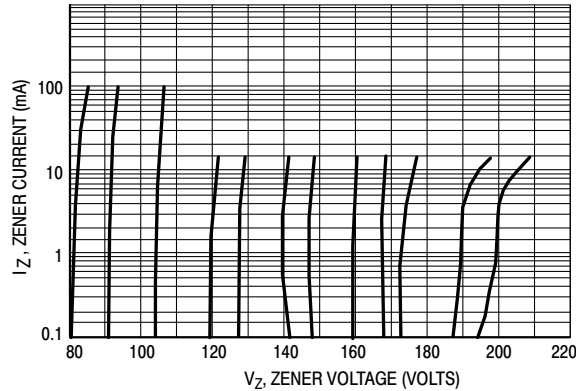


**Figure 7. Zener Voltage versus Zener Current**  
 $V_Z = 3.3$  thru 10 Volts



**Figure 8. Zener Voltage versus Zener Current**  
 $V_Z = 11$  thru 75 Volts

## 1N53 Series



**Figure 9. Zener Voltage versus Zener Current**  
 **$V_Z = 82$  thru  $200$  Volts**

### APPLICATION NOTE

Since the actual voltage available from a given Zener diode is temperature dependent, it is necessary to determine junction temperature under any set of operating conditions in order to calculate its value. The following procedure is recommended:

Lead Temperature,  $T_L$ , should be determined from:

$$T_L = \theta_{LA} P_D + T_A$$

$\theta_{LA}$  is the lead-to-ambient thermal resistance and  $P_D$  is the power dissipation.

Junction Temperature,  $T_J$ , may be found from:

$$T_J = T_L + \Delta T_{JL}$$

$\Delta T_{JL}$  is the increase in junction temperature above the lead temperature and may be found from Figure 4 for a train of power pulses or from Figure 1 for dc power.

$$\Delta T_{JL} = \theta_{JL} P_D$$

For worst-case design, using expected limits of  $I_Z$ , limits of  $P_D$  and the extremes of  $T_J$  ( $\Delta T_J$ ) may be estimated. Changes in voltage,  $V_Z$ , can then be found from:

$$\Delta V = \theta_{VZ} \Delta T_J$$

$\theta_{VZ}$ , the Zener voltage temperature coefficient, is found from Figures 2 and 3.

Under high power-pulse operation, the Zener voltage will vary with time and may also be affected significantly by the zener resistance. For best regulation, keep current excursions as low as possible.

Data of Figure 4 should not be used to compute surge capability. Surge limitations are given in Figure 5. They are lower than would be expected by considering only junction temperature, as current crowding effects cause temperatures to be extremely high in small spots resulting in device degradation should the limits of Figure 5 be exceeded.

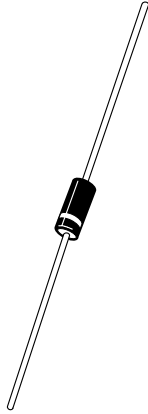
**MECHANICAL CASE OUTLINE**  
**PACKAGE DIMENSIONS**

ON Semiconductor®

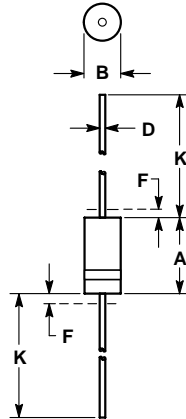


**SURMETIC 40, AXIAL LEAD**  
CASE 017AA-01  
ISSUE O

DATE 23 SEP 2005



SCALE 1:1



- NOTES:
1. CONTROLLING DIMENSION: INCH
  2. LEAD DIAMETER AND FINISH NOT CONTROLLED WITHIN DIMENSION F.
  3. CATHODE BAND INDICATES POLARITY

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.330	0.350	8.38	8.89
B	0.130	0.145	3.30	3.68
D	0.037	0.043	0.94	1.09
F	---	0.050	---	1.27
K	1.000	1.250	25.40	31.75

<b>DOCUMENT NUMBER:</b>	<b>98AON21393D</b>	Electronic versions are uncontrolled except when accessed directly from the Document Repository. Printed versions are uncontrolled except when stamped "CONTROLLED COPY" in red.
<b>STATUS:</b>	<b>ON SEMICONDUCTOR STANDARD</b>	
<b>NEW STANDARD:</b>		
<b>DESCRIPTION:</b>	<b>SURMETIC 40, AXIAL LEAD</b>	<b>PAGE 1 OF 2</b>

## A.5 Strombegrenzender Widerstand

SMD POWER RESISTORS AEC-Q200 QUALIFIED



### Type 3521 Series

#### Key Features

2 Watts at 70°C

Small size to power ratio

Supplied on tape

Value marked on resistor

500 volt maximum overload

250 volt maximum working voltage

Terminal finish matte Sn over Ni

AEC-Q200 Qualified

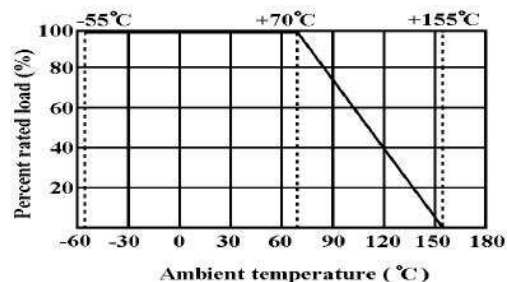


TE Connectivity is pleased to announce that our 3521 series high power Thick Film Chip Resistor is now AEC-Q200 Qualified. This low cost device, suitable for auto placement in volume, and for most applications, including high frequency operations, owing to the short lead structure, is attractively priced and available on 7" reels of 4000 pieces.

#### Characteristics – Electrical

Power Rating	2W
Resistance Range	0.1Ω ~ 10MΩ
Tolerance	±1% ±5%
Max. Working Voltage	250V
Max. Overload Voltage	500V
Dielectric Withstanding Voltage	500V
Temperature Range	-55°C ~ +155°C
Ambient Temperature	70°C

Resistors shall have a power rating based on continuous load operation at an ambient temperature of 70 °C . For temperature in excess of 70 °C , The load shall be derated as shown below:





**Voltage Rating:**

Resistors shall have a rated direct-current (DC) continuous working voltage or an approximate sine-wave root-mean-square (RMS) alternating-current (AC) continuous working voltage at commercial line frequency and waveform corresponding to the power rating , as determined from the following formula:

$$RCWV = \sqrt{P \times R}$$

Where:

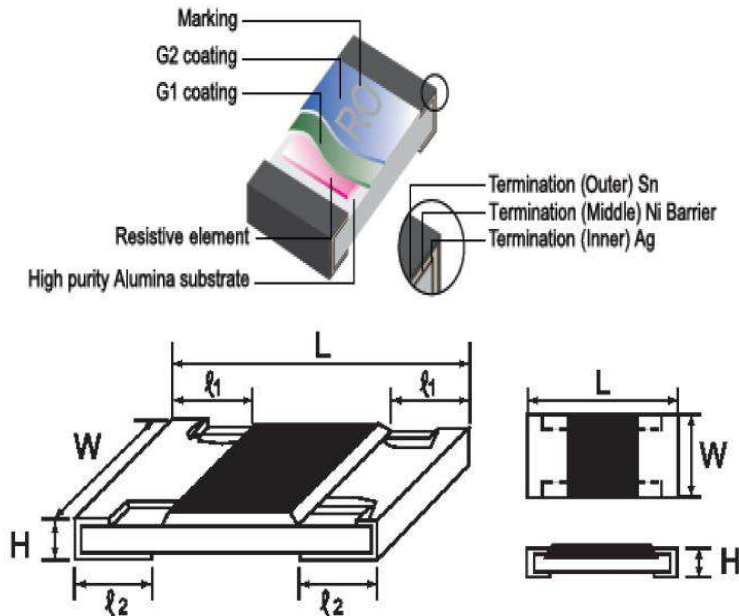
RCWV = Rated DC or RMS AC continuous working voltage at commercial-line frequency and waveform (volt)

P = Power Rating (watt)

R = Nominal Resistance (ohm)

In no case shall the rated DC or RMS AC continuous working voltage be greater than the applicable maximum value.

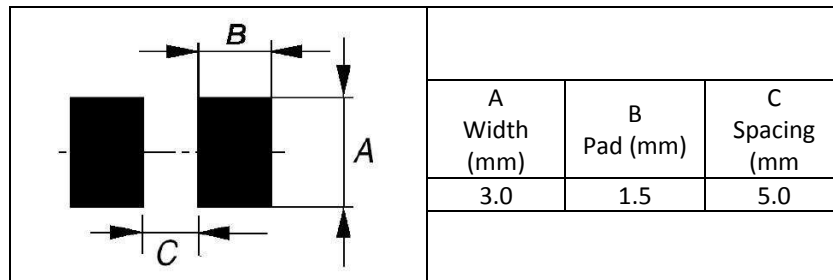
**Construction & Dimensions:**



Dimensions: (mm)

L	W	H	l1	l2
6.35±0.10	3.20±0.20	0.55±0.10	0.60±0.25	0.50±0.20

### Recommended solder pad



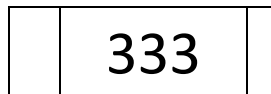
4 layers PCB specification:

- 1) Outside 2 layers (Top and Bottom) with copper foil thickness at 2oz.
- 2) Inside 2 layers (Middle layers) with copper foil thickness at 4 oz.

### Marking:

For E24 series Values three digit marking, the first two digits are significant figures and the third denoting number of zeros.

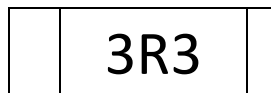
E.G.



33K $\Omega$

For Ohmic Values below 10 $\Omega$

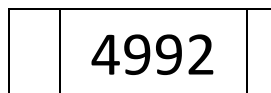
E.G.



3.3 $\Omega$

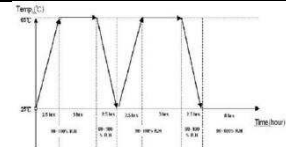
For E96 Values four digit marking, the first three showing significant figures and the fourth showing number of zeros. As previously letter R is for decimal point.

E.G.



49K9 $\Omega$

### Performance Specification:

Characteristics	Limits	Test Methods
Operational life	$\pm(1\%+0.1\Omega)\text{max}$	125°C, at 35% of operating power, 1000H (1.5 hours "ON", 0.5 hour "OFF"). <b>(MIL-STD-202)</b>
	<100mΩ	Apply to rate current for 0Ω
Electrical Characterisation	0.1Ω<R≤0.976Ω ±100PPM 1Ω ≤ R ≤10Ω ≤ ±400PPM/°C 10Ω < R ≤100Ω ≤ ±200PPM/°C 100Ω<R≤10MΩ ≤ ±100PPM/°C	Parametrically test per lot and sample size requirements, summary to show Min, Max, Mean and Standard deviation at room as well as Min and Max operating temperatures. (User Spec)
External Visual	No Mechanical Damage	Electrical test not required. Inspect device construction, marking and workmanship <b>(MIL-STD-883 Method 2009)</b>
Physical Dimension	Reference 2.0 Dimension Standards	Verify physical dimensions to the applicable device detail specification. Note: User(s) and Suppliers spec. Electrical test not required. <b>(JESD22 MH Method JB-100)</b>
Resistance to Solvent	Marking Unsmearred	Note: Add Aqueous wash chemical – OKEM Clean or equivalent. Do not use banned solvents. <b>(MIL-STD-202 Method 215)</b>
Terminal Strength	Not broken	Force of 1.8kg for 60 seconds. <b>(JIS-C-6429)</b>
High Temperature Exposure (Storage)	Resistance change rate is $\pm (0.5\%+0.1\Omega)$ Max.	1000hrs. @T=155°C.Unpowered. Measurement at 24±2 hours after test conclusion. <b>(MIL-STD-202 Method 108)</b>
	<50mΩ	Apply to rate current for 0Ω
Temperature cycling	Resistance change rate is $\pm (0.5\%+0.1\Omega)$ Max.	1000 Cycles (-55°C to +155°C). Measurement at 24±2 hours after test conclusion <b>(JESD22 Method JA-104)</b>
	<50mΩ	Apply to rate current for 0Ω
Moisture Resistance	Resistance change rate is $\pm (0.5\%+0.1\Omega)$ Max.	 <p>The graph shows a temperature cycle between 25°C and 125°C. The cycle consists of 1000 cycles. The temperature is held at 25°C for 24 hours, then ramps up to 125°C, held at 125°C for 24 hours, and then ramps back down to 25°C. The cycle repeats 1000 times.</p>
	<50mΩ	Apply to rate current for 0Ω
Biased Humidity	Resistance change rate is $\pm (1\%+0.1\Omega)$ Max	10% rated power, 85°C/85%RH, 1000H. Measurement at 24 hours after test conclusion. <b>(MIL-STD-202 Method 103)</b>
	<100mΩ	Apply to rate current for 0Ω
Mechanical Shock	$\pm(1\%+0.1\Omega)$ max	Wave Form: Tolerance for half sine shock pulse. Peak value is 100g's. Normal duration (D) is 6. <b>(MIL-STD-202 Method 213)</b>
Vibration	$\pm(1\%+0.1\Omega)$ max	5g's for 20 min., 12cycle each of 3 orientations. Note: Use 8"*5"PCB. 031" thick 7 secure points (onone) long side and 2 secure points at corners of opposite sides. Parts mounted within 2' from any secure point. Test from 10-2000Hz. <b>(MIL-STD-202 Method 204)</b>



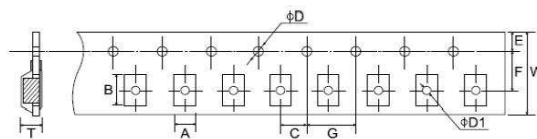
### Performance Specification (continued)

Characteristics	Limits	Test Methods
Thermal Shock	$\pm(1\%+0.1\Omega)$ max	-55°C/+155°C Note: Number of cycles required -300, Maximum transfer time -20 seconds, Dwell time -15 minutes. Air-Air. <b>(MIL-STD-202 Method 107)</b>
	<50mΩ	Apply to rate current for 0Ω
ESD	$\pm(10\%+0.1W)$ max	With the electrometer in direct contact with the discharge tip, verify the voltage setting at levels of $\pm 500V, \pm 1KV, \pm 2KV, \pm 4KV, \pm 8KV$ , The electrometer reading shall be within $\pm 10\%$ for voltages from 500V to $\leq 800V$ . <b>(AEC-Q200-002)</b>
Solderability	95% coverage Min.	For both leaded & SMD. Electrical test not required Magnification 50X. Conditions: a) Method B 4hrs at 155°C dry heat, the dip in bath with 245°C, 5s. b) Method B: at 215°C, 5s. c) Method D: at 260°C, 60s. <b>(J-STD-002)</b>
Flammability	No ignition of the tissue paper or scorching of the pinewood board	V-0 or V-1 are acceptable. Electrical test not required. <b>(UL-94)</b>
Board Flex	$\pm(1\%+0.05W)$ max	2mm (Min) <b>(JIS-C-6429)</b>
	<50mW	Apply to rate current for 0 W
Flame Retardance	No flame	Temperature sensing at 500 $\square$ , Voltage power subjected to 32VDC current clamped up to 500ADC and decreased in 1.0VDC/hour. <b>(AEC-Q200-001)</b>
Resistance to soldering Heat	$\pm(1\%+0.05\Omega)$ max.	Condition B No per-heat of samples. Note: Single Wave Solder-Procedure 2 for SMD and Procedure 1 for Leaded with solder within 1.5mm of device body. <b>(MIL-STD-202 Method 210)</b>
	<50mW	Apply to rate current for 0 W

\* Sulfuration test: H2S 3~5PPM 50°C  $\pm$  2°C 91%~93%RH 1000H

### Packaging specification

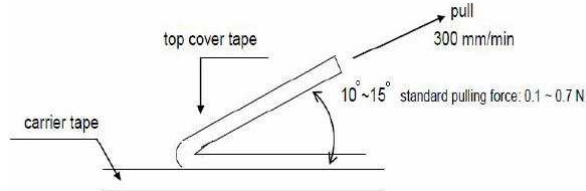
#### Embossed Taping:



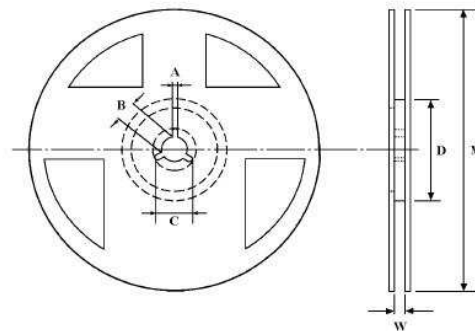
A	B	C	$\varnothing D+0.1$	$\varnothing D1+0.1$	E	F	G	W	T $\pm$
$\pm 0.2$	$\pm 0.2$	$\pm 0.05$	-0	-0	$\pm 0.1$	$\pm 0.05$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	0.1
3.50	6.70	2.0	1.5	1.5	1.75	5.5	4.0	12.0	1.0

**Peeling Strength of Top Cover Tape**

Test Condition: 0.1 to 0.7 N at a peel-off speed of 300 mm / min.



**Reel Dimensions**



Tape	Reel Qty	A ±	B ±	C ±	D ± 1	M ± 2	W ± 1
Embossed	4,000	2	13	21	60	178	13.8

**Environment Related Substance**

This product complies to EU RoHS directive, EU PAHs directive, EU PFOS directive and Halogen free.

**Ozone layer depleting substances.**

Ozone depleting substances are not used in our manufacturing process of this product.

This product is not manufactured using Chloro fluorocarbons (CFCs), Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs), Hydrobromofluorocarbons (HBFCs) or other ozone depleting substances in any phase of the manufacturing process.