



Der Ethernet-Injector – Power-over-Ethernet-Einspeisung

Im vorangegangenen ELVjournal haben wir einen PoE-Splitter vorgestellt, der es ermöglicht, das Datensignal und die Versorgungsspannung, die nach dem PoE-Standard in das Netzwerk eingespeist wurde, wieder zu trennen. Dadurch lassen sich auch Netzwerkgeräte versorgen, die nicht für PoE vorbereitet sind. Für die Einspeisung der Betriebsspannung wird entweder ein PoE-fähiger Netzwerk-Switch/-Router oder ein PoE-Injector eingesetzt. Einen solchen stellen wir hier vor. Im Gegensatz zu einfachen Injektoren, die meist im Set mit ebenso einfachen Splitttern verkauft werden, ist der PoE-I normenkonform und somit sicher im Betrieb.

Technische Daten PoE-I

Versorgungsspannung:	15 Vdc (Hohlsteckerbuchse 2,1/5,5 mm)
Stromaufnahme:	max. 1,5 A, ca. 40 mA im Ruhebetrieb (kein Netzwerkgerät angeschlossen)
Ausgangsspannung:	48–52 Vdc
Max. Ausgangsleistung:	15,4 W (abhängig von der Länge des Netzkabels)
Standards:	IEEE802.3af, IEEE802.3 10BaseT, IEEE802.3u 100BaseT, IEEE802.3ab 1000BaseT
Netzwerk-Eingang:	RJ45, 10/100/1000
Netzwerk-Ausgang:	RJ45, 10/100/1000, mit PoE
Schutzart:	IP 20
Umgebungstemperatur:	+5 bis +30 °C
Abmessungen (B x H x T):	93 x 69 x 104 mm
Gewicht:	75 g

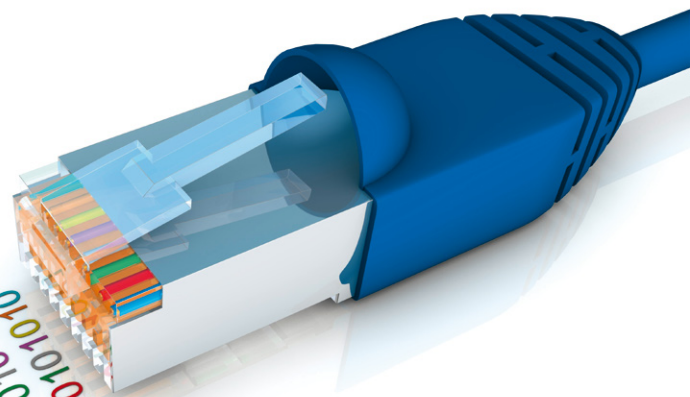
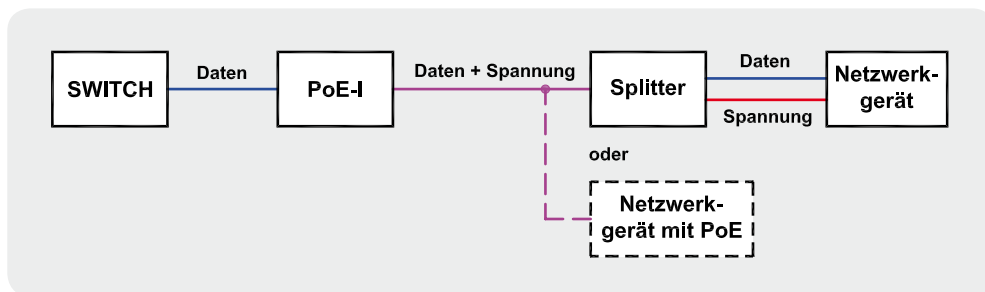


Bild 1:
Die Einbindung
eines PoE-Injectors
in das Netzwerk



Netzwerk unter Strom

Bereits seit 2003 ist mit der internationalen Norm IEEE 802.3af der zusätzliche Stromtransport über Ethernet-Netzwerkleitungen geregelt, seit 2009 gibt es eine weitere Variante, die IEEE 802.3at, die noch höhere Leistungen erlaubt.

In unserem Artikel im ELVjournal 4/2012 zum ELV-Power-over-Ethernet-Splitter [1] haben wir dazu Grundlagen und technisch-organisatorische Abläufe bereits ausführlich erläutert, weitere Grundlagen und Normen sind unter [2] und [3] zu finden.

Die Einspeisung der Versorgungsspannung ins Netzwerk erfolgt entweder über einen sogenannten PoE-Endspan, also einen Router oder Switch oder einen PoE-Midspan, einen Power-Injector, der zwischen Router/Switch und Netzwerkgerät geschaltet ist (Bild 1). Um normgerecht zu arbeiten und im Netzwerk arbeitende Geräte nicht zu beschädigen, legt die Norm eine definierte Anmelde- und Klassifizierungsprozedur fest (im nebenstehenden Kasten noch einmal kurz zusammengefasst). Die hierzu notwendigen Komponenten sind in unserem Injector integriert, womit er sich von einfachen Geräten dieser Art unterscheidet und voll normenkonform arbeitet. Diese einfachen Injektoren speisen die Versorgungsspannung ohne Anmeldeprozess einfach auf das in 10-/100-Mbit-Netzwerken unbelegte Adernpaar ein. Für den Splitter ist es dann ausreichend, wenn er aus einem einfachen Spannungsregler besteht. So ein einfacher Injektor kann ein nicht PoE-fähiges Netzwerkgerät beschädigen oder zerstören, da Gleichspannung je nach Gerät unkontrolliert in die Schaltung fließen könnte.

Durch die Einhaltung der Anmelde- und Klassifizierungsprozedur jedoch wird ein nicht PoE-fähiges Gerät durch eine Strommessung im Netzwerk erkannt und keine Spannung auf das Netzwerk geschaltet. Der genaue Ablauf der Prozedur ist ebenfalls im o. a. Artikel zum PoE-Splitter erklärt. Entweder muss also ein PoE-Splitter oder ein PoE-fähiges Netzwerkgerät, wie z. B. eine so ausgestattete IP-Kamera auf der „Empfangsseite“ angeschlossen sein und entsprechend „antworten“, sonst erfolgt keine Einspeisung ins Netzwerk. Die Details dazu wollen wir uns nun im Rahmen der Schaltungsbeschreibung ansehen.

Schaltungsbeschreibung

Die Spannungsversorgung der Schaltung (Bild 2) erfolgt über die Buchse BU1 mit 15 V Gleichspannung, sie stellt gleichzeitig für die gesamte Schaltung das Bezugspotenzial dar. Mit dem Shunt-Regler D1 (siehe Elektronikwissen) wird eine negative Spannung von ca. 3,3 V erzeugt, die als virtuelle Masse für IC5 und

Die Anmelde- und Klassifizierungsprozedur

Um ein zu versorgendes Gerät (PD) zu erkennen bzw. um nicht PoE-fähige Geräte vor einer Beschädigung durch Überspannung zu schützen, ist eine Anmelde- und Klassifizierungsprozedur erforderlich.

Die Anmeldeprozedur beginnt damit, das PD zu erkennen (Detektierung). Dazu legt das speisende Gerät (PSE) 2 definierte Spannungsrampen (2,8 V und 10,1 V) an und misst den sich einstellenden Strom. Ist ein nicht PoE-fähiges Gerät angeschlossen, wird hier abgebrochen und keine Spannung auf das Netzwirkkabel geschaltet. Somit kann dieses nicht beschädigt werden.

Wird hingegen ein PoE-fähiges Gerät erkannt, wird dessen Leistungsklasse abgefragt, indem das PSE einen Spannungsimpuls zwischen 14,5 V und 20,5 V erzeugt und den resultierenden Strom misst (Klassifizierung). Dieser sogenannte Signaturstrom zeigt der PSE an, in welche Klasse das Gerät eingestuft ist.

Nach Abschluss dieser Prozedur wird die Versorgungsspannung aufgeschaltet.

Wird die Verbindung zum PD aufgetrennt bzw. fällt die Stromaufnahme unter 5–10 mA, erfolgt sofort das Abschalten der Spannung auf dem Kabel. Hierfür muss der Stromfluss ständig durch das PSE überwacht werden.

einen Teil der restlichen Schaltung verwendet wird. Die PoE-Ausgangsspannung von etwa -52 V wird über einen Schaltregler generiert, der von IC5 geregelt wird. Pin 5 des ICs ist ein PWM-Ausgang mit einer Periodendauer von 4 µs (250 kHz), über das Puls-Pausen-Verhältnis wird die Ausgangsspannung geregelt.

Die Ausgangsspannung wird über den Spannungsteiler R36 + R37 und R35 von IC5 gemessen und überwacht. Mit den beiden Ausgängen CTRL 1 und CTRL 2 und den Komparator IC1 wird das Puls-Pausen-Verhältnis so variiert, dass die Ausgangsspannung konstant ist.

Da auch für die Ausgangsspannung das Bezugspotenzial die Eingangsspannung ist, wird der Knotenpunkt L2/D4 auf eine Spannung von etwa -37 V (bezogen auf die Eingangs-masse) ausgeregelt (15 V - -37 V = 52 V).

Um die Einhaltung des maximalen Laststroms von 350 mA zu ermöglichen, misst IC5 über die „Shunt“-Widerstände R7 und R8 den Ausgangsstrom und kann so bei Kurzschluss oder Überlast den Schaltregler aus-

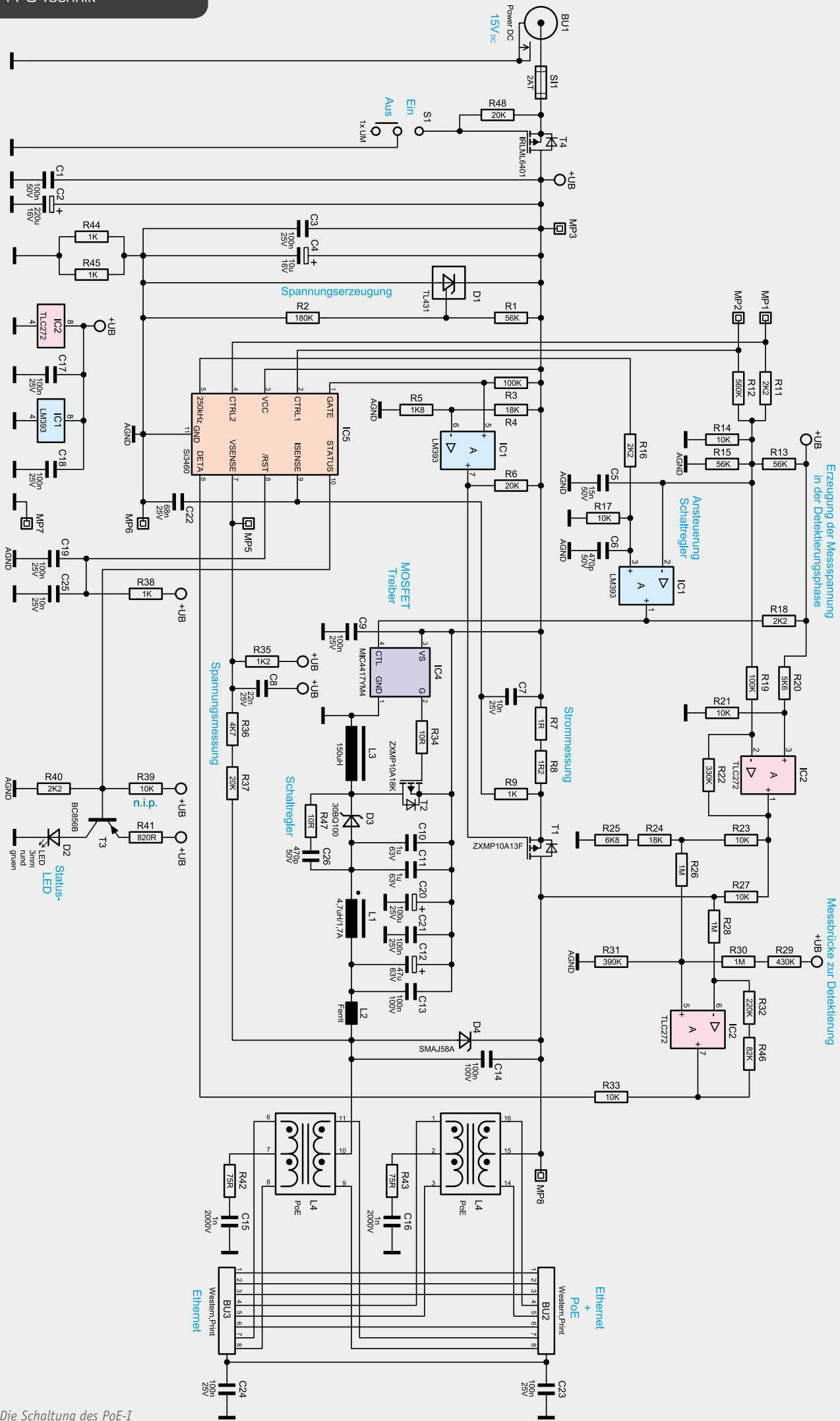


Bild 2: Die Schaltung des PoE-I

schalten. In diesem Fall wird nach einer Wartezeit von etwa 2 s mit einem neuen Detektierungszyklus begonnen. Dies wird so lange wiederholt, bis der Kurzschluss oder die Überlast behoben oder das versorgte Gerät entfernt wurde.

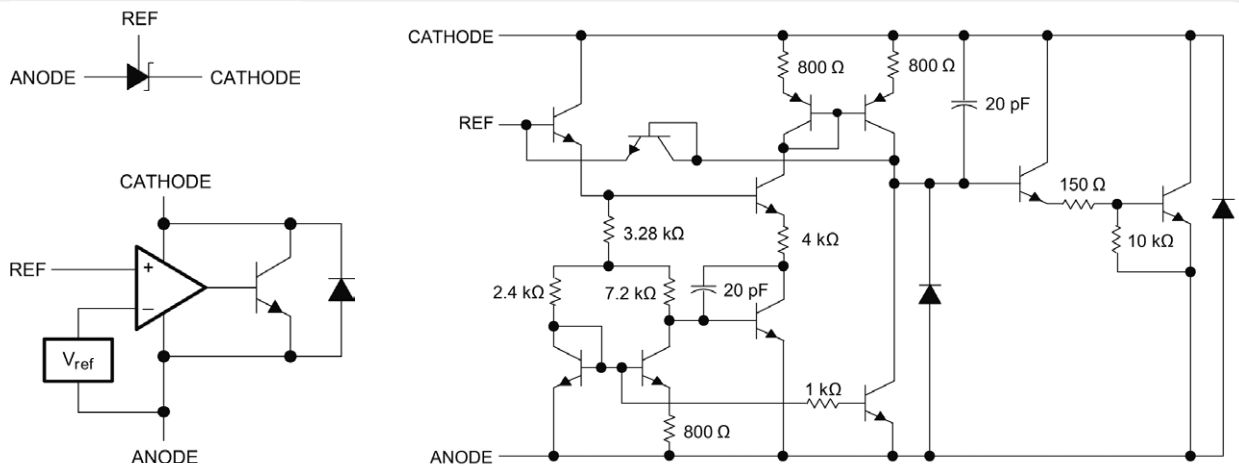
Über den Shunt wird zudem in der Klassifizierungsphase des PoE-Anmeldeprozesses die Leistungsklasse bestimmt.

Über die beiden in L4 integrierten Netzwerkübertrager wird die Spannung dann ins Netzkabel eingespeist. Die Einspeisung erfolgt nach Alternative B (IEEE 802.3af/IEEE 802.3at), das heißt, es wird das positive Spannungspotenzial auf die Kontakte 4/5 und das negative Spannungspotenzial auf die Kontakte 7/8 der Netzbuchse BU2 gelegt. Ohne Übertrager wäre der Einsatzbereich auf 10BASE-T- bzw. 100BASE-TX-Netzwerke beschränkt, da dort nur die Adernpaare 1/2 und 3/6 genutzt werden. So werden aber auch 1000BASE-T-Netzwerke (Gigabit-Ethernet) unterstützt. Der Einsatz von Übertragern ist eigentlich nur bei Gigabit-Ethernet notwendig, da dort alle 4 Adernpaare genutzt werden und ohne galvanische Trennung die PoE-Spannung andere Netzwerkgeräte (Switch, Router usw.) beschädigen könnte. Aber auch in 10-Mbit- und 100-Mbit-Netzwerken trägt die galvanische Trennung zur Sicherheit bei, da man nicht sicher sein kann, dass die ungenutzten Adernpaare nicht doch irgendwo in einer Netzwerkkomponente angeschlossen sind.

Die Detektierung der PoE-Kennung (19Ω bis $26,5 \Omega$) eines angeschlossenen Netzwerkgeräts erfolgt über die Messbrücke $R23/(R24 + R25)$ und $R27/R_{\text{Netzwerkgerät}}$. Die Spannungen der beiden Brückenarme werden von IC2 miteinander verglichen und das Ergebnis auf Pin 6 von IC5 geführt. Um eine sichere Widerstandsbestimmung zu gewährleisten, wird der Widerstand 3-mal bei verschiedenen Spannungen bestimmt. Die Spannungen betragen 4,5 V, 7,5 V und 4,5 V und werden nacheinander für etwa 20 ms angelegt. Zur Erzeugung der 2 Spannungspotenziale nutzt IC5 die beiden PWM-Ausgänge CTRL 1 und CTRL 2 (Pin 2 und Pin 4), deren Ausgangssignale durch die Widerstände R11, R12 und C5 gemittelt und geglättet werden und somit ein Gleichspannungspotenzial erzeugen. Der als Differenzverstärker geschaltete TLC272 (IC2) erzeugt daraus das gewünschte Messsignal für die Widerstandsbestimmung.

Nach erfolgreicher Detektierung und Klassifizierung schaltet IC5 den PoE-Verbraucher über den P-Kanal-MOSFET T1 zu und beginnt mit der Generierung des PWM-Signals für den Schaltregler.

Die Bilder 3 bis 5 zeigen Oszilloskopaufnahmen des Anmeldeprozesses zwischen PoE-I und PoE-S. In Bild 3 sind Detektierungs- und Klassifizierungsphase im Detail dargestellt. Bild 4 zeigt die gesamte Anmeldephase inklusive Zuschalten der PoE-Spannung. In Bild 5 kann man den Verlauf der Spannung auf dem



Schaltzeichen, Blockschaltbild und Innenschaltung des TL431

Bild: Texas Instruments [4]

Shunt-Regler

Der Shunt-Regler oder auch Quer-/Parallelregler ist ein sehr einfacher Spannungsregler. Im Minimalfall besteht er aus einem Widerstand und einer Zener-Diode. Der Shunt-Regler belastet die Spannungsquelle so, dass sich die gewünschte Spannung einstellt, bei niederohmigen Quellen wird also ein Vorwiderstand benötigt. Einen einstellbaren Regler erhält man z. B. durch den Einsatz eines TL431, den es von vielen verschiedenen Herstellern gibt. Durch einen einfachen Spannungsteiler lässt

sich die gewünschte Spannung einstellen. Der Regler versucht, den Referenzgang auf den Referenzwert auszuregulieren, indem er je nach Eingangsspannungsänderung hoch- oder niederohmiger wird. Beim TL431 liegt die Referenzspannung bei etwa 2,5 V, es lassen sich daher Spannungen im Bereich von 2,5 V bis 36 V ausregeln. Der Vorwiderstand muss so dimensioniert werden, dass ein Mindeststrom von 1 mA garantiert wird, damit der TL431 richtig arbeiten kann. Zu beachten ist die maximale Strombelastbarkeit des Reglers, da im Falle eines Leerlaufs der gesamte Strom durch den Regler fließt. Anwendung findet ein Shunt-Regler auch als Spannungsreferenz in Regelschaltungen oder für AD-Wandler. Hierfür gibt es dann auch spezialisierte Referenzspannungsquellen wie z. B. LM236/LM336.

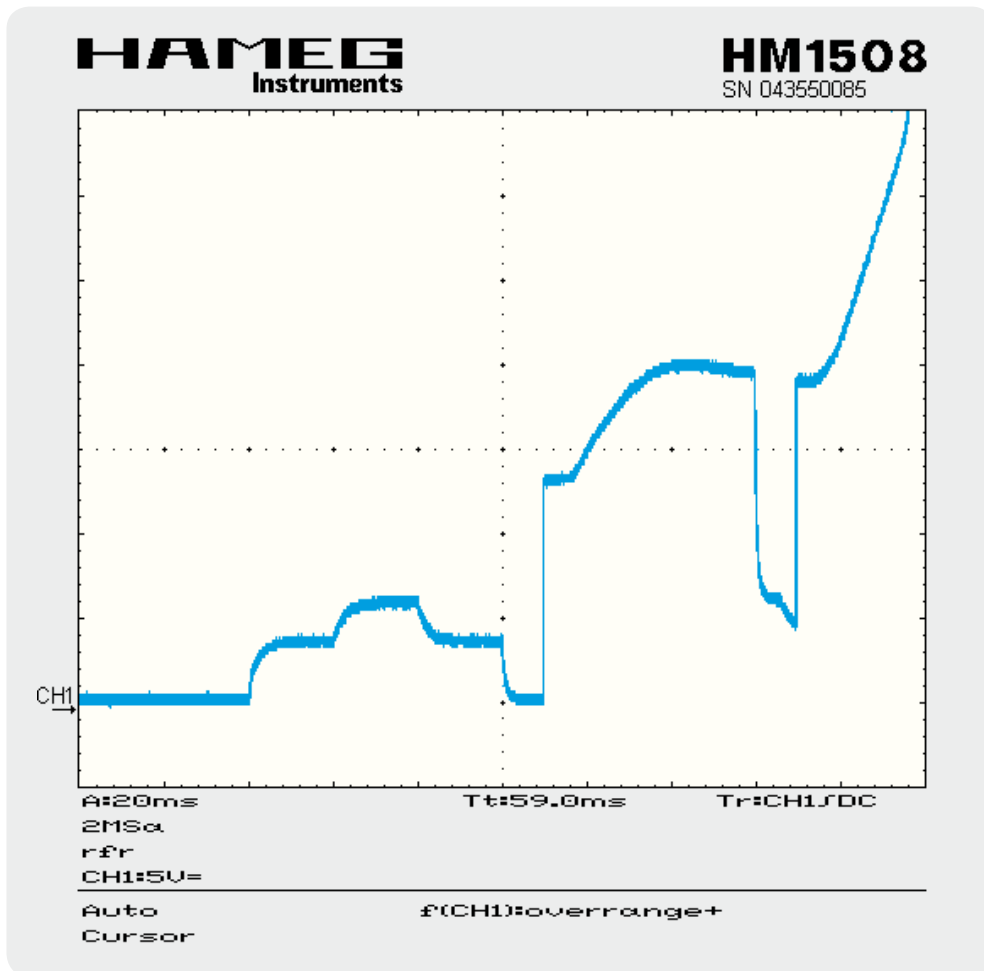


Bild 3: Detailaufnahme der Detektierungs- und der Klassifizierungsphase

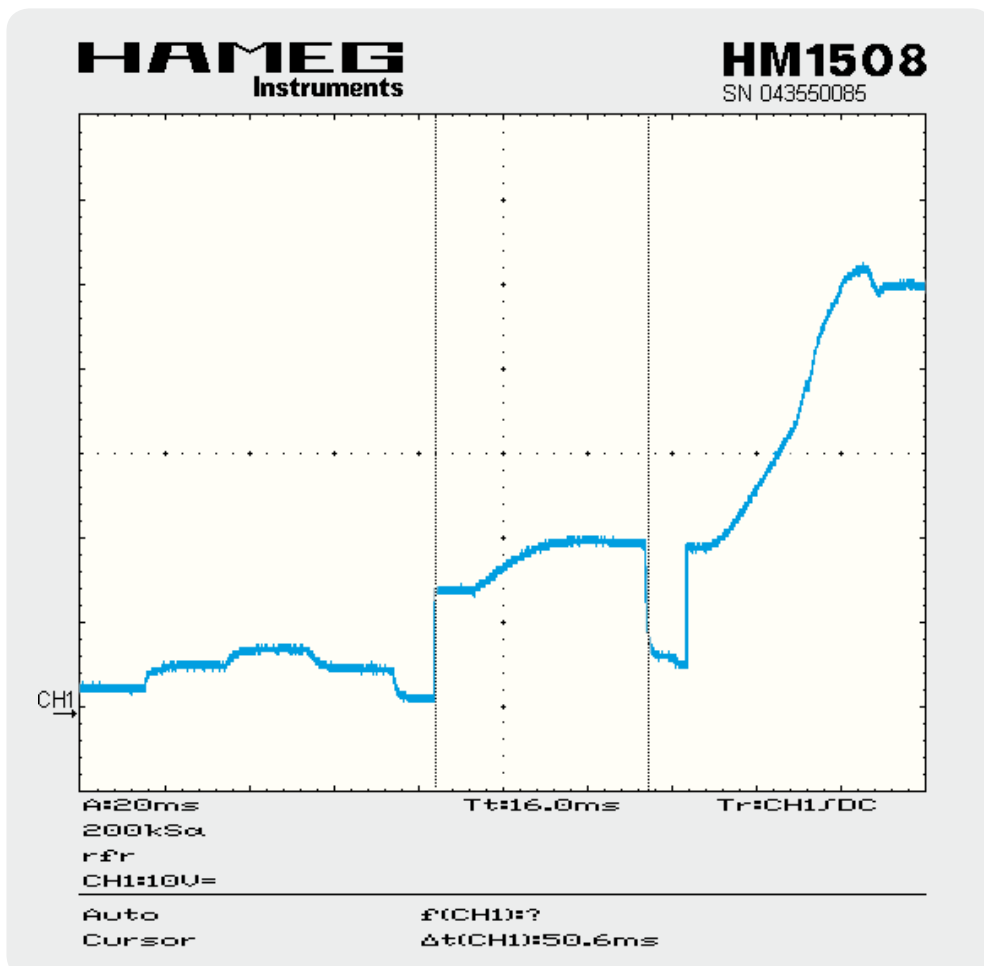


Bild 4: Vollständige Anmeldeprozedur inklusive Zuschaltung der PoE-Spannung

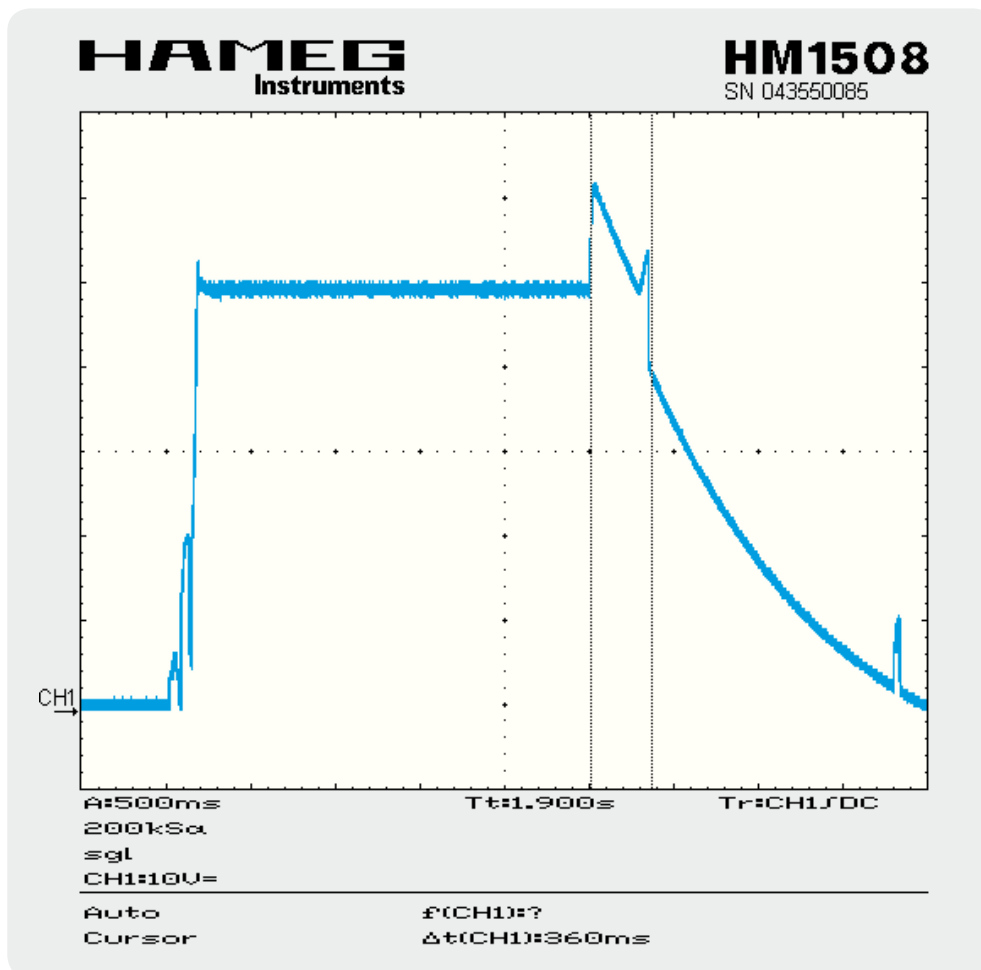


Bild 5: Spannungsverlauf von der Detektierungsphase bis zum Entfernen der versorgten Netzwerkkomponente (PD)

Netzwerkkabel von der Detektierung bis zum Entfernen des PD erkennen.

Die einzelnen Betriebszustände werden über die LED D2 angezeigt (Tabelle 1).

Nachbau

Da alle SMD-Komponenten bereits werkseitig bestückt sind, beschränkt sich der Nachbau auf das Bestücken der bedrahteten Bauteile und den Einbau ins Gehäuse. Die Bestückung erfolgt in gewohnter Weise anhand des Bestückungsplans (Bild 6), der Stückliste und unter Zuhilfenahme der Platinenfotos.

Die Anschlüsse der bedrahteten Bauelemente werden durch die entsprechenden Bohrungen der Platine geführt und von der Rückseite her verlötet. Bei den Elektrolyt-Kondensatoren ist auf die richtige Polarität zu achten, sie sind üblicherweise am Minuspol durch eine Gehäusemarkierung gekennzeichnet. Bei

der Bestückung der Buchsen und des Schiebeschalters ist darauf zu achten, dass die Bauteile plan auf der Leiterplatte aufliegen, um die mechanische Belastung der Lötstellen zu minimieren.

Als Erstes wird der Schiebeschalter S1 bestückt, gefolgt von Elko C4 und Shunt-Regler D1. Im nächsten Schritt folgen BU1, Elko C2 und die Kondensatoren C10 und C11. Nun fehlen noch die beiden Elkos C12 und C20 sowie die Buchsen BU2 und BU3. Die Bestückung der LED D2 erfolgt mit einer Einbauhöhe von ca. 18 mm, gemessen zwischen Platine und Gehäuseoberkante (siehe Bild 7). Damit ist die Platine fertig bestückt.

Die Platine kann nun in die Gehäuseoberschale eingelegt werden.

Bevor die Gehäuseunterschale aufgeschoben wird, müssen unbedingt alle über 1,5 mm abstehenden Kontakte und Anschlussenden auf 1,5 mm gekürzt werden,

Anzeige der Betriebszustände über die LED	
LED-Zustand	Bedeutung
Langsames Blinken (etwa 300-ms-Takt)	Der Injektor befindet sich in der Detektierungsphase.
Dauerleuchten	PoE-fähiges Gerät erkannt, Gerät wird versorgt.
Schnelles Blinken (etwa 50-ms-Takt)	Überlast oder Kurzschluss wurde erkannt und die Versorgung unterbrochen. Nach einer Wartezeit von 2 s wird die Detektierungsphase neu gestartet.

Tabelle 1

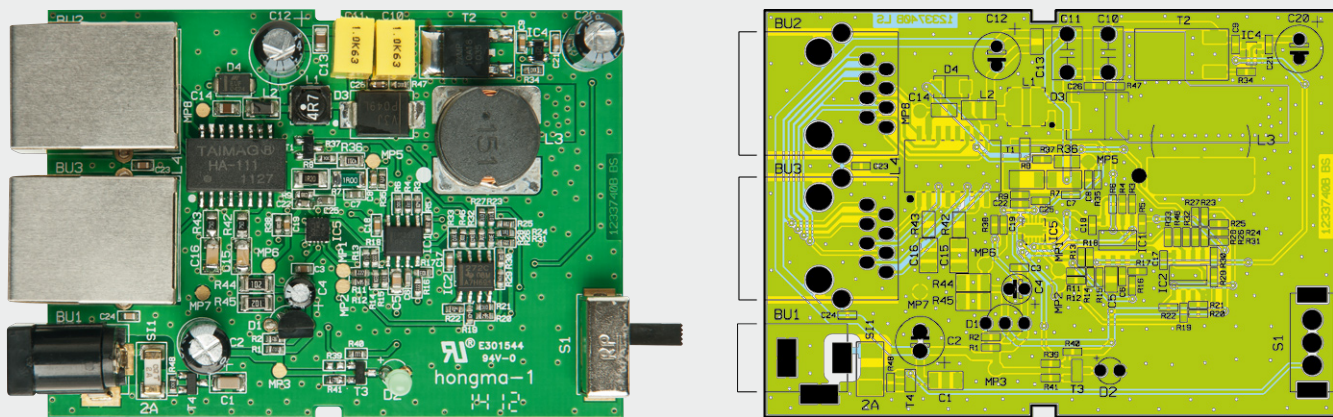


Bild 6: Die fertig bestückte Platine des PoE-Injektors, rechts der zugehörige Bestückungsplan

da diese ansonsten das Schließen verhindern. Insbesondere die Pins der Buchsen BU1 bis BU3 sowie des Schiebeschalters S1 sind entsprechend zu kürzen.

Inbetriebnahme

Nach dem Einbau in das Gehäuse kann die Spannungs-

versorgung mit einem geeigneten Netzteil (15 V, stabilisiert) hergestellt werden. Der Einsatz eines Schaltnetzteils mit mindestens 2 A Ausgangsstrom wird empfohlen, um das Netzteil nicht zu überlasten.

Die Status-LED sollte jetzt im Sekundentakt blinken und die Stromaufnahme um die 40 mA schwanken (je nach Zustand der LED). Nun kann der Injektor über die Buchse „Ethernet“ an das bestehende Netzwerk

Widerstände:

1 Ω /1/SMD/1206	R7
1,2 Ω /SMD/1206/1%	R8
10 Ω /1/SMD/0603	R34, R47
75 Ω /SMD/0805	R42, R43
820 Ω /1 %/SMD/0603	R41
1 k Ω /1 %/SMD/0603	R9, R38
1 k Ω /SMD/1206	R44, R45
1,2 k Ω /1 %/SMD/0603	R35
1,8 k Ω /1 %/SMD/0603	R5
2,2 k Ω /1 %/SMD/0603	R11, R16, R18, R40
4,7 k Ω /1 %/SMD/0805	R36
5,6 k Ω /1 %/SMD/0603	R20
6,8 k Ω /1 %/SMD/0603	R25
10 k Ω /1 %/SMD/0603	R14, R17, R21, R23, R27, R33
18 k Ω /1 %/SMD/0603	R4, R24
20 k Ω /1 %/SMD/0603	R6, R37, R48
56 k Ω /1 %/SMD/0603	R1, R13, R15
82 k Ω /1 %/SMD/0603	R46
100 k Ω /SMD/0603	R3, R19
180 k Ω /1 %/SMD/0603	R2
220 k Ω /1 %/SMD/0603	R32
330 k Ω /1 %/SMD/0603	R22
390 k Ω /1 %/SMD/0603	R31
430 k Ω /1 %/SMD/0603	R29
560 k Ω /1 %/SMD/0603	R12
1 M Ω /1 %/SMD/0603	R26, R28, R30

Kondensatoren:

470 pF/SMD/0603	C6, C26
1 nF/2000 V	C15, C16
10 nF/SMD/0603	C7, C25
15 nF/SMD/0805	C5
22 nF/SMD/0603	C8
68 nF/SMD/0603	C22

100 nF/SMD/0603	C3, C9, C17, C18, C19, C21, C23, C24
100 nF/100 V/SMD/0805	C13, C14
100 nF/SMD/1206	C1
1 μ F/63 V/MKT	C10, C11
10 μ F/16 V	C4
47 μ F/63 V/105 $^{\circ}$ C	C12
100 μ F/25 V/105 $^{\circ}$ C	C20
220 μ F/16 V	C2

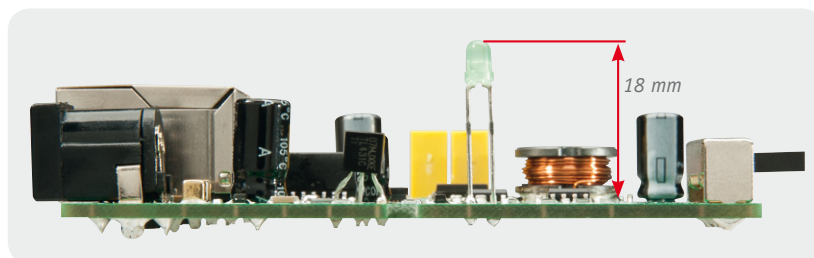
Halbleiter:

LM393/SMD	IC1
TLC272/SMD	IC2
MIC4417YM4	IC4
Si3460/SMD	IC5
ZXMP10A13F/SMD	T1
ZXMP10A18K/SMD	T2
BC856B	T3
IRLML6401/SMD	T4
30BQ100/SMD	D3
SMAJ58A-TR/SMD	D4
LED/3 mm/grün	D2
TL431CLP	D1

Sonstiges:

Speicherdrossel, SMD, 4,7 μ H/1,7 A	L1
Chip-Ferrit, 1206, 600 Ω bei 100 MHz	L2
SMD-Induktivität, 150 μ H/2,6A	L3
Übertrager für PoE HA-111	L4
Sicherung, 2 A, träge, SMD	SI1
Hohlsteckerbuchse, 2,1 mm, print	BU1
Modulare Einbaubuchsen, 8-polig, abgeschirmt	BU2, BU3
Schiebeschalter, 1x um, winkelprint	S1
1 Profil-Gehäuse, Typ PG97LGM, lichtgrau, seidenmatt, komplett, bearbeitet und bedruckt	

Bild 7: Detailaufnahme zur Bestückung von D 2



angeschlossen werden. Die Buchse „Ethernet + PoE“ wird per Netzkabel mit dem zu versorgenden PoE-fähigen Gerät verbunden. Dazu muss mindestens ein F/UTP-Kabel eingesetzt werden, CAT.5e-Kabel erfüllen diese Anforderung in der Regel.

Nachdem der Injektor das angeschlossene Gerät erkannt hat, beginnt die LED dauerhaft zu leuchten und

das Gerät wird mit Spannung versorgt. Bild 8 zeigt das in Betrieb befindliche Gerät.

Trotz der beschriebenen Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von nicht PoE-fähigen Netzwerkkomponenten sollten Letztere nicht bewusst mit dem PoE-I verbunden werden. **ELV**



Bild 8: Der PoE-I im Betrieb



Achtung

Der PoE-Injektor sollte niemals direkt an ein nicht PoE-fähiges Gerät angeschlossen werden, da trotz der Sicherheitsvorkehrungen (siehe Anmeldeprozess) Schäden am Injektor bzw. dem Netzwerkgerät nicht ausgeschlossen werden können.

Ist das Netzwerkgerät nicht PoE-fähig, muss ein PoE-Splitter (z. B. ELV PoE-S) zwischengeschaltet werden. Nähere Informationen zum Anschluss und Einsatz des Splitters sind der dazugehörigen Dokumentation zu entnehmen.



Wichtige Hinweise

1. Für PoE nur Patchkabel verwenden, die mindestens die Spezifikation für F/UTP-Kabel (ISO/IEC 11801:2002) einhalten. CAT.5e-Patchkabel erfüllen in der Regel diese Anforderungen.
2. Das Gerät darf nur mit einer geregelten Spannungsversorgung von 15 Vdc betrieben werden.
3. Während des Betriebs muss sichergestellt werden, dass die Lüftungsschlitze nicht abgedeckt werden, da es sonst zur Überhitzung des Geräts kommen kann. In einem solchen Fall besteht Brandgefahr.



Weitere Infos

- [1] Power-over-Ethernet-Splitter, ELVjournal 4/2012, S. 50 ff.
- [2] Power over Ethernet, ELVjournal 4/2009, S. 46 ff.
- [3] www.elv.de: Webcode: #1229
- [4] www.ti.com/product/tl431