



Az autóelektronikában használt interfészek adatvonalainak és tápellátásának félvezető alapú túlfeszültségvédelme

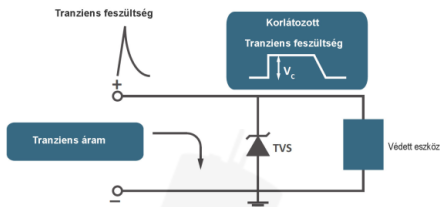
Az áramkörvédelem az elektronikus eszközök működését normális üzemi körülmények között nem befolyásolja, viszont rendkívül fontos szerepe van az élettartam, az üzembiztonság területén és a szabványoknak való megfelelésig biztosítására. Az ESD, EFT, Surge és a „Load Dump” jellegű tranziensek olyan potenciális fenyegetést jelentenek az autóelektronikai eszközök I/O portjai számára, ami elleni védekezésről az áramkör tervezésekor feltétlenül gondoskodni kell, mindemellett az alkalmazott megoldás nem befolyásolhatja az átviteli sebességet. A tranziens szupresszor diódával való védekezés alapjait áttekintve és néhány példán keresztül szeretnénk bemutatni ezen eszközök alkalmazási lehetőségeit az autóelektronikában.

Túlfeszültség elleni védelem TVS diódával

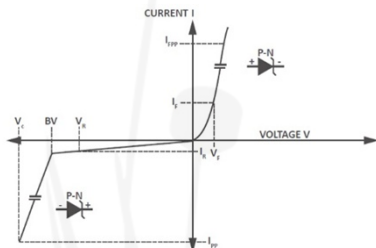
Az elektronikai eszközök a külvilág felé I/O portokon keresztül kommunikálnak, melyek adatvonalai és tápellátásuk megfelelő védelem hiányában potenciális támadási pontjai az elektrosztatikus kisülés (ESD), az elektronikus gyors tranziens (EFT), a surge és a „load dump” jellegű túlfeszültségek számára. Az alkalmazott túlfeszültségvédő eszközök nem befolyásolhatják a port adatátviteli képességét, ami nagy sebességen igen nehéz feladat. A tradicionális, egyszerű kondenzátoros védelem, és nagy kapacitással rendelkező (nagy méretű) túlfeszültségvédő eszközök a nagy frekvencia miatt nem használhatók, mert az adatvonalak parazita kapacitását minimális szinten kell tartani, ellenkező esetben a védelmi eszköz kapacitív impedanciája, ami a frekvencia reciprokával arányos ($Z_C \sim 1/2\pi fC$) olyan kis értékű lesz, hogy az jelvesztéshez vezetne. Ezért olyan kisméretű, kis kapacitású, de nagy energia elnyerésére alkalmas és pontos megszólalási feszültségű eszköz alkalmazására van szükség, ami egyaránt alkalmas a különböző túlfeszültség típusok vonatkozásában a szabványok előírásainak betartására és emellett a

NYÁK infrastruktúra költségét is alacsony szinten tartja.

Egy népszerű megoldás erre a TVS dióda használata. A félvezető szilícium TVS diódák a Zener diódákhoz hasonló, de azokénál nagyobb keresztmetszetű P/N átmenettel rendelkeznek, melynek mérete arányos a kezelni kívánt teljesítménnyel. Ezek az eszközök olyan „clamping” eszközök, melyek alacsony impedanciás „Avalanche” P/N átmenetük megnyitásával a feszültségtüskéket a mögöttes elektronika által elviselhető mértékű szintre korlátozzák (clamping voltage).



1| A TVS dióda feszültségkorlátozó eszköz



2| Egyirányú TVS dióda karakterisztika

TVS dióda U-I karakterisztikája nagyon hasonlít a Zener diódáéra, az alapvető különbség az, hogy míg a Zener dióda

feszültség-stabilizálásra, addig a TVS dióda kifejezetten tranziens túlfeszültség elleni védelemre lett tervezve, hiszen a túláramot azonnal söntöli és a védendő áramkörre jutó maradék túlterhelést elviselhető szintre korlátozza.

Ahhoz, hogy hosszabb lefolyású tranziensek is elviselhetők legyenek a védőeszköz számára, a mérnökök választhatnak nagyobb méretű tokozást, mely jobban disszipálja a keletkező hőt, mert chip mérettől egészen nagy modulokig találhatunk TVS diódát a gyártók kínálatában. Ugyan a TVS dióda maximális teljesítménye elmarad a fém-oxid varisztoroknál elérhető kiemelkedő értékektől, a maximális feszültség és áramértékek több eszköz soros, vagy párhuzamos kapcsolásával tetszőlegesen növelhető, miközben a MOV-al ellentétben pontosan beállítható a megszólalási feszültség és korlátlanul ismételhető megszólalásszám jellemzi. A mai TVS dióda lehetővé teszi a viszonylag nagy surge jellegű áramok elvezetését is. A TVS dióda meghibásodásakor rövidzárra kerül.

A félvezetős technológia miatt működése rendkívül gyors és precíz, mert a válaszidő az elektronok sebességével arányos. Mivel a helyesen megválasztott túlfeszültség védő normál üzemi körülmények közt láthatatlan kell, hogy legyen, az esetleges nagy adatátviteli frekvenciákon ultra alacsony - pF

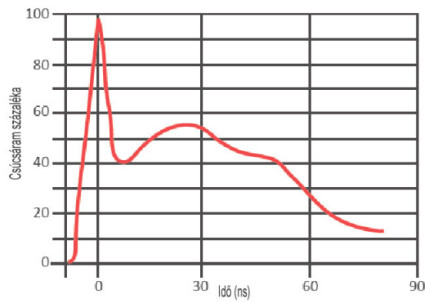
nagyságrendű- kapacitású TVS diódákra van szükség, ilyen például a ProTek Devices GBLC08CLC eszköze, melynek vonali kapacitása mindössze 0.4 pF. A szupresszor dióda unidirekcionális szervezésben DC vonalakhoz éppúgy használható, mint bidirekcionális változatokban váltakozó áramú applikációkhoz. Szemben a fém-oxid varisztorokkal (MOV), melyek csak kezdetben, az első néhány megszólalásig mutatnak kielégítő szivárgási viselkedést a TVSD nem öregszik, a szivárgási áram karakterisztikája kiváló marad az idő előrehaladtávalq is. Válaszideje a nanoszekundum nagyságrendbe esik, és működését alacsony clamping faktor (~1.33) jellemzi.

Túlfeszültség típusok és szabványok

ESD, Surge, Load Dump

Az IEC 61000-4-2 szabvány definiálja az emberi test által keltett ESD esemény lefolyását, és feszültség tekintetében négy szintet különböztet meg, egészen 8kV kontakt és 15kV levegő kisülés értékig. A szabvány célja, hogy a tervezőket segítse az elegendő mértékű védelem kiválasztásában.

Az emberi test model (Human Body Model) alapján definiált tranzien lefolyása az ábra szerinti, a felfutás 1 ns alatt és a lefutás 60 ns körüli időtartamot vesz igénybe.



3| ESD jelalak, a tranzien időbeli lefolyása ns nagyságrendű

Sok esetben találkozunk azzal a jelenséggel, hogy a tervezőmérnök nem gondoskodik a teljes megoldásra vonatkozó - az előírt szabványnak megfelelő - ESD védelemről, mert az gondolja, hogy elegendő a kiválasztott IC adatlapja szerinti beépített védelem, további védekezésre nincsen szükség. A félvezetőgyártók gyakran csak 1-es szintű (Level 1) védelmet (1-2 kV) építenek be az eszközeikbe a gyártás során fellépő zavarok hatásának minimalizálására, azonban a valós körülmények közt fellépő ESD akár 15kV is lehet, ezért a beépített védelmet csak másodlagos szintnek szabad tekinteni és szükség van egy primer védelemre is 8kV kontakt és 15kV levegő kisülés impulzusok ellen.

Az ESD védelem kiválasztásánál figyelembe kell venni a következőket:

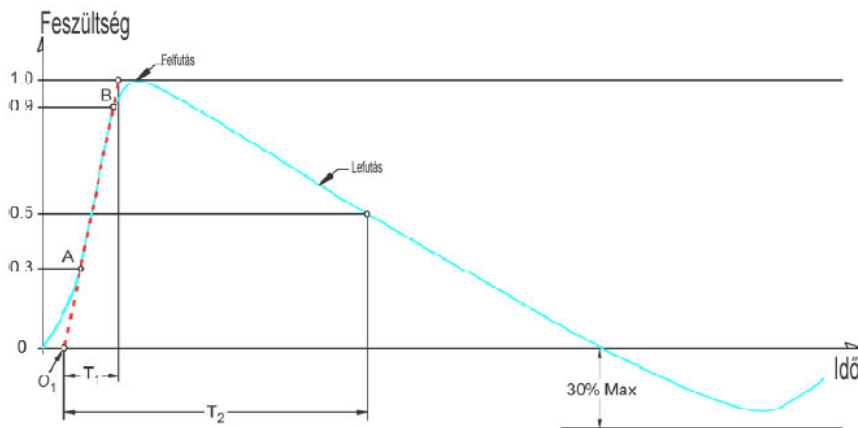
- Az eszközre jellemző trigger feszültség, mely alatt a védelem láthatatlan

▪ A védőeszköz ún. „overshoot” feszültsége, ahol az megszólal

▪ A feszültségkorlát mértéke (clamping voltage), melyre a védőeszköz a kimenetén megjelenő feszültséget korlátozza

vonásban van létjogosultsága a TVS alapú védelmeknek.

A második vonalban használt TVSD a gyors válaszideje és az alacsony „clamping” feszültsége miatt hatékonyan csökkenti a védendő készülék által



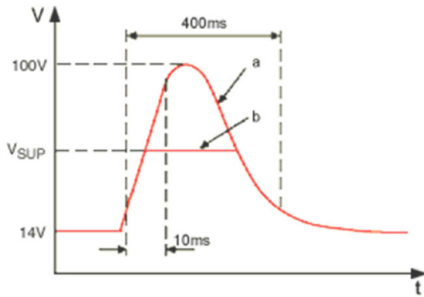
4| Surge jellegű transziens jelalak 8/20 us felfutás/lefutás idő

A surge az ESD-nél nagyságrendekkel hosszabb (mikro szekundum nagyságrendű) és nagyobb energiájú zavar, melyet általában villámütés, vagy kapcsolási transziens okozhat. Általában a hatékony védekezéshez kétszintű védelemre van szükség, a primer rendszer „crowbar” jellegű túlfeszültségvédelmet tartalmaz, ezek az eszközök az energia nagy részét magukon keresztül söntölik a föld felé, még a második vonalban „clamping” eszközökkel lehet védekezni az átvíto villám vagy kapcsolás okozta túlfeszültség ellen. Ebben a második

elviselhető szintre a primer védelmen átvíto transziens, ezzel kompenzálva a GDT nagy megszólalási feszültségküszöbjét. A vonatkozó normák és előírások szerint a másodlagos védelem akár 1500 V feszültséget és 100A (8/20 μ s, 10/1000 μ s és 10/700 μ s hullámformájú) „surge” áramot kell, hogy elviseljen.

A harmadik kritikus túlfeszültség fajta - az úgynevezett Load dump - általában úgy keletkezik, hogy nagy induktivitású forrásról a terhelést hirtelen lekapcsolják. Jellemző esete ennek, amikor a gépjármű

akkumulátorát véletlenül hirtelen lekapcsoljuk a generátorról, miközben az töltődik. A tekercsekben felhalmozódott energia hosszu, általában milliszekundum nagyságrendű tranziens túlfeszültséget okoz, melyet a felfutás után lassú lefutás és nagy energia jellemez. A jelszint elérheti a 174 V-ot és akár 400 ms is lehet a lefutás ideje.



5| Load dump jellegű tranziens, 100 ms nagyságrendű lefolyás

A gépjármű elektronikatervezők jól ismerik az ISO 16750 szabványt, mely a közúti gépjárművek elektronikai berendezéseinek vizsgálatát írja le. Az ISO 16750-2 ennek kiegészítése, mely 2012 óta hatályos és a fenti gépjárművek számára potenciálisan veszélyes környezeti hatásokkal foglalkozik, valamint meghatározza a szükséges ellenőrzési tesztek és javaslatokat tesz az egységek beépítési helyére a járműben. A szabványban foglaltak szerint a túlfeszültség mértéke akár 202 V és lefolyása 400 ms is lehet. Feltételezve, hogy a soros ellenállás

értéke 1~2 Ohm, a fellépő surge-áram akár meghaladhatja az 50 Ampert 350 ms hosszan, ezzel a tervezőknek tisztában kell lenniük. A szabvány előírásainak való megfeleléshez 10 impulzusból álló percenként ismételt tesztet kell kiállni a Load Dump elleni védelemnek, úgy, hogy közben ekkora áramot kell tudni kezelni anélkül, hogy az ellenállás változna (drift) a vonalon.

A védekezés egyik lehetséges módja az automatikus kapcsolás, a tranziens megjelenésekor a védelem meghatározott időre lekapcsolja a DC-DC konverter és az egyéb mögöttes elektronika bemenetéről a feszültséget, majd fix késleltetéssel a tranziens feltételezett lefutása után visszakapcsolja azt. Ez a soros Load Dump védelem általában precíziós programozható feszültség referenciát használ a pontos leválasztáshoz. Egy ilyen elektronika általában számos komponensből áll és bonyolult felépítésű. Ha lenne olyan védelem, amely a felszabaduló energiát képes elnyelni, akkor lényegesen egyszerűsödne a feladat.

A ProTek Devices a tápfeszültség félvezető tranziens szupresszor diódával való söntölése útján ad választ erre a kihívásra, olyan diszkrét komponenst alkotott, mely – az ISO 16750-1 előírásainak megfelelően - képes kezelni tíz egymást követő alkalommal a 350-400 ms hosszan tartó 30-60A nagyságú surge áramot tíz percen keresztül.



Ez a diszkrét TVS diódás Load Dump elleni védelem jelentős előnyökkel bír:

- Egyszerűsített áramkör – a korábbi 16 komponens egy diszkrét alkatrészszel helyettesíthető.
- Alacsony indulási költségek – rövidebb BOM, alacsonyabb gyártásindítási költségek
- Kisebb nyomtatott áramköri lap –DO218AB tokozás
- Alacsonyabb szállítási határidő, mert csak egy terméket kell beszerezni
- Kiváló MTBF kalkulálható: az egyetlen DO218AB tokozású alkatrész sokkal kevesebb hibalehetőséget jelent
- A gyártási költségek a kevésbé bonyolult tesztállomás szükségessége miatt is csökkenthetők

Járműelektronikában előforduló tranziensek				
Időtartama	Legfőbb oka	Feszültség amplitúdó	Energia	Gyakoriság
200-400 ms	Load Dump	< 125V	> 10J	Ritka
Allandó	Hibás feszültség szabályzó	18V		Ritka
< 320µs	Induktív terhelés kapcsolása	80V - 300V	< 1J	Gyakori
200ms	Generátor lekapcsolása	-100V -40V	< 1J	Minden leállításkor
90ms	Indítási impulzus, akku lekapcsolódik	< 75V	< 0.5J	< 500Hz Ritka
1ms	Kábelkörtég (induktív) átszátolás	< 200V	< 1J	Gyakori
< 60ns	ESD	<15kV	<10mJ	Ritka

6) A járműelektronikában előforduló tranziensek

Adatvonalak túlfeszültség védelme

A tápegységekben megtalálható nagyszámú induktív és kapacitív passzív komponens jelenléte miatt ezek az eszközök általában immunisak az ESD-re, a tápvonalakat surge és load dump ellen szokták védeni. Az adatvonalakon alkalmazott túlfeszültségvédő eszközök kapacitása azonban komoly problémát jelent magas baud rate esetén. A soros ellenállás a terhelés kapacitásával együtt alkotja ez első szűrőt, mely lassítja a jel fel és lefutását. A hatásos ellenállás csökkentése lehetséges a réz keresztmetszetek növelésével, de a kapacitás csökkentése jelenti az igazi megoldást a nagy sebességek eléréséhez.

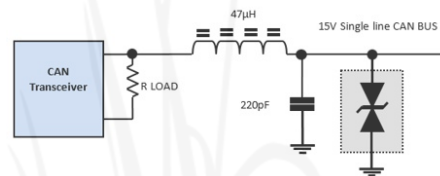
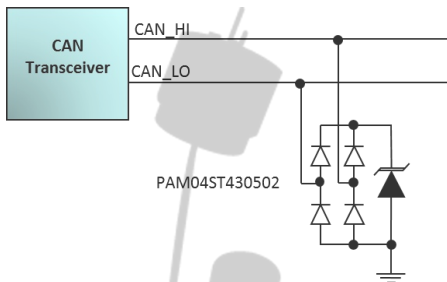
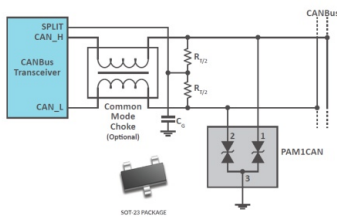
CAN busz védelme TVS diódával

A CAN-Busz egy üzenetalapú soros buszrendszer, mely elsősorban járműipari alkalmazásokhoz került kifejlesztésre. Adatátviteli sebessége

elérheti az 1Mbit/s értéket, általában 40m alatti hosszúságú fizikai hálózaton.

A ProTEK integrált TVS diódás túlfeszültségvédelmi megoldást fejlesztett ki ESD és a kapcsolási nagyfeszültségű tranziensek elleni védekezésre.

A PAM1CAN eszköz mindkét adatvonal védelmét ellátja.



Jellemzői:

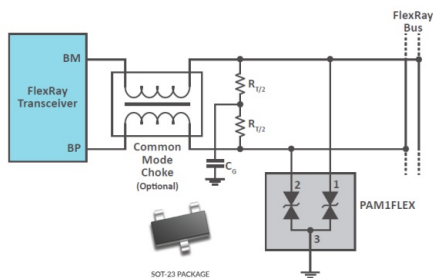
- IEC 61000-4-2 ±8kV érintés, ±15kV levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 3A @ 8/20µs
- AEC-Q101 tanúsított
- 1 x PAM1CAN SOT-23 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 24 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 25.4 V
- $V_C @ I_P$: 70V @ 3A
- Szivárgási áram I_R : 0.05µA
- Max. kapacitás: 17pF

A 15V-os és az 5V-os single line CAN busz védelmére a 60 pF kapacitású, 17A surge áram kezelését lehetővé tévő PAM10ST2315C és az ultra kis (0.6pF) kapacitással rendelkező PAM04ST430502 eszközök elérhetők, melyek SOT-23 és SOT-543 tokozásban 8/15kV ESD, 40A EFT védelmet adnak.

FlexRay busz védelme TVS diódával

A FlexRay-Busz két egymástól független csatornája nagyfokú hibatűréssel rendelkező nagy sebességű, szinkron és aszinkron átviteli módot is támogató rendszert alkot, mely csatornánként 10Mb/s sávzélességgel rendelkezik, a CAN busz sebességének tízszeresét (két csatorna esetén hússzorosát) elérő sebességgel kommunikál. Védekezni

általában ESD és rövidzár ellen szükségeses.



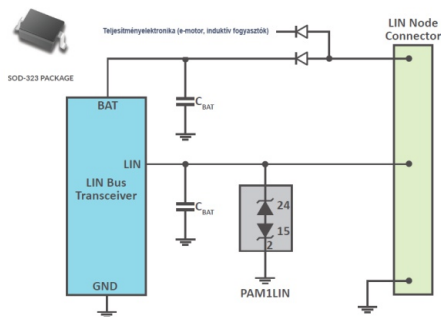
8| PAM1FLEX FLEXRAY busz túlfeszültség elleni védelmére

Jellemzői :

- IEC 61000-4-2 $\pm 8\text{kV}$ érintés, $\pm 15\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 3A @ 8/20 μs
- AEC-Q101 tanúsított
- 1 x PAM1FLEX SOT-23 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 24 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 25.4V
- $V_C @ I_p$: 70V @ 3A
- Szivárgási áram I_R : 0.05 μA
- Max. kapacitás: 11pF

LIN busz védelme TVS dióddal

A LIN busz a járműelektronikában az egyes részrendszerek közti soros hálózati kommunikációra használt egyvezetékes max 40 méteres és 19,2 vagy 20 kbit/sec sebességű master – slave hálózat (max 16 pont) Védekezni általában ESD és rövidzár ellen szükséges.



9| PAM1LIN/PAM2LIN LIN busz túlfeszültség elleni védelmére

Jellemzői:

- 15/24V feszültség
- ESD $\pm 25\text{kV}$ érintés, $\pm 25\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge
 - PAM1LIN: 200W/vonal @ 8/20 μs
 - PAM2LIN: 350W/vonal @ 8/20 μs
- AEC-Q101 tanúsított
- SOD323 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 15 & 24 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 17.2 & 25.5V
- $V_C @ I_p$: 44V @ 5A & 70V @ 3A
- Szivárgási áram I_R : $< 50\text{nA}$
- Max. kapacitás:
 - PAM1LIN : 11 pF
 - PAM2LIN: 3 pF

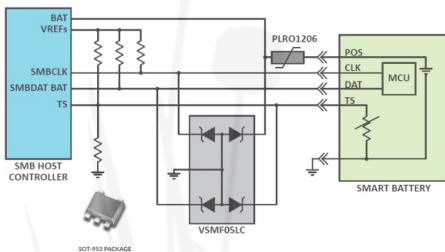
Tápvonalak védelme

Tápvonalak védelme esetén nincs szükség extrém kis vonali kapacitásértékű TVS diódák alkalmazására, itt inkább a nagy energiájú és esetenként hosszú lefolyású tranziensek jelentik a kihívást a komponesfejlesztők számára.

Lítium-ion akkumulátoros rendszerek védelme TVS diódával

Az intelligens lítium-ion akkumulátor-rendszerek túláramvédelmére és a vezérlő chip ESD védelmére fejlesztette ki a ProTEK a VSMF05LC és a PLRO1206 eszközöket.

Mivel eredendően üzemeni csatlakoztatás jellemzi az ilyen rendszereket, ESD, rövidzár és hibás külső eszköz használatából eredő tranziensek elleni védekezésre van szükség.



10) Li-Ion akkumulátor védelme

Jellemzői:

- IEC 61000-4-2 $\pm 8\text{kV}$ érintés, $\pm 15\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 2A @ 8/20 μs
- 1 x VSMF05LC SOT-953 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 5 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 6 V
- $V_C @ I_P$: 12V @ 2A
- Szivárgási áram I_R : 1 μA
- Tip. kapacitás: 9pF

Load dump elleni védekezés TVS diódával

A gépjármű elektronikát tervező mérnökök megszokásból általában névleges soros R_i értéket (2 Ohm 12 V és 4 Ohm 24 V esetén), valamint alacsony t_d időbeli lefolyást választanak (40ms 12 V és 100ms 24 V esetén) a túlfeszültség védelem méretezésekor, a Load Dump tranziens hatására fellépő surge áram korlátozására.

Sok esetben alacsonyabb teljesítményre specifikált SMCJ (1.5kW) vagy SMDJ (3kW) TVS eszközökkel operálnak, de a kérdés az, hogy ez vajon elegendően robusztus védelem-e a mai korszerű gépjárművekben is, ahol az elektronikai egységek száma megsokszorozódott?

A ProTek Devices PAM8S sorozata egyedülálló megoldást nyújt az ISO

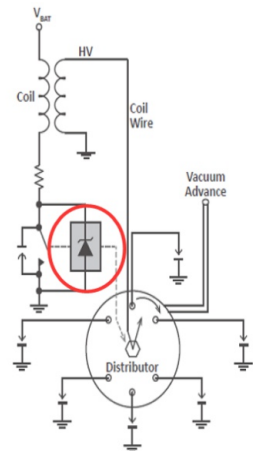
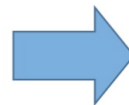
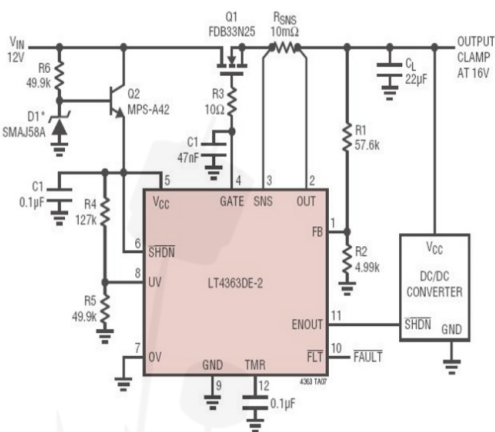
16750-2 Load Dump teszt előírásainak megfelelő túlfeszültség védelemre, miközben a mai megoldásokhoz képest a lehető legalacsonyabb értéken (48.4 V-on) tartja a védendő vonalra jutó feszültséget. Megfelel az AEC-Q101 megbízhatósági szabványnak is.

A sorozat 15 nagy-teljesítményű TVS mátrixból áll, ezzel lefedi az ipar igényeit a 14-43 V záróirányú stand-off feszültség-tartományon.

A RoHS és REACH elvárásainak megfelelő JEDEC DO-218AB

tokozásban, $T_j = 175^\circ\text{C}$ átmeneti hőmérsékletű TVS eszközök kaptak helyet, melyek így tökéletesen megfelelnek a nagy megbízhatóságot igénylő autóiipari feladatokra.

Ez a diszkrét áramköri megoldás tökéletes Load Dump elleni védelmet nyújt és emellett a gyártási költségek csökkenése útján további előnyökkel bír a vezető IC gyártók védelmi módszereivel szemben, elsősorban a helytakarékoság, és az áramköri lapok valós bekerülési költségének minimalizálása útján.



11| Load dump elleni védekezés egyetlen szupresszor diódával