



## Load dump jellegű túlfeszültség elleni védekezés az autóelektronikában

**A**hogy az mindenki számára közsímert, napjainkban az elektronika elterjedése és integrálása az egyik legmeghatározóbb eleme az gépjárműipar fejlődési trendjeinek, hiszen a vezetési élmény növelése, a hajtási rendszerek hatásfokának maximalása és a biztonsági kockázatok csökkentése is mind olyan feladatok, melyeket csak elektronikai úton lehet hatékonyan megvalósítani. Beszéljünk akár az Elektronet korábbi számában nagy vonalakban áttekintett szabványos interfészek, az információs és szórakoztató fedélzeti rendszer, a LED alapú világítástechnikai alrendszerek, a parolást segítő, sávtartást biztosító, ráfűtést megakadályozó funkciók, vagy a TPMS (automatikus guminyomást figyelő) rendszerről, ezek mind ki vannak téve a különböző okokból fellépő túlfeszültség káros hatásának, ami komoly kihívást jelent mind az elektronikai tervezőknek, mind pedig az áramkörvédelmi alkatrészek gyártóinak. Jelen írásunkban elmélyedünk az egyik legkritikusabb túlfeszültség típus, a „Load Dump” elleni védekezés lehetőségeiben.

### Az autóelektronikában megjelenő túlfeszültségek típusai

Az elektronika hibátlan működését akadályozó gyakori transziens feszültségek a táblázatban összefoglalt okokra vezethetők vissza. A fedélzeti informatikai, szórakoztató elektronikai, világítási, hajtásátviteli és biztonsági rendszerek tervezőinek az autóiipari szabványoknak megfelelő védelmet kell biztosítaniuk ezek ellen a hatások ellen, a garanciális és a későbbi karbantartási költségek optimalizálásához.

A gépjárművek elektronikai rendszereinek gyors túlfeszültség elleni védettségét diszkrét félvezető kvalifikációs eljárások meghatározásával az AEC (Automotive Electronics Council) szabványosította.

Az AEC-Q101 a következő túlfeszültség típusokat különbözteti meg:

- Elektrosztatikus feltöltődés [ESD], emberi test (HBM) vagy gépi modell (MM) szerint
- Induktív terhelés kapcsolásakor keletkező túlfeszültség
- Load dump jellegű túlfeszültség, mely akkor keletkezik, amikor a generátor töltés közben hirtelen leválik a terhelésről.

Az elektrosztatikus kisülés (ESD) két különböző mértékben feltöltődött tárgy, leggyakrabban ember és fém közeledésekor, érintésekor fordul elő, látható szikra formájában, mikor a szigetelő dielektrikum átütési feszültségét meghaladja a potenciálkülönbség.

Ez a feszültség általában 2-15 kV közötti (levegőben való kisülés), és a gyors lefolyás (ns) miatt viszonylagosan kis energia jellemzi.

A „surge” jellegű túlfeszültség már sokkal hosszabb lefolyású, általában mikro szekundum nagyságrendű, nagy energiájú zavar, ami általában induktív terhelés kapcsolásakor jön létre.

A harmadik, egyben leghosszabb, akár néhány száz milliszekundum lefolyású tranziens az úgynevezett „Load dump”, mely a gépjármű elektronikában általában akkor keletkezik, amikor az akkumulátor és a generátor kapcsolata megszakad az aktív töltési folyamat alatt. A jelszint akár 174 V is lehet és nem ritka a 400ms hosszúságú esemény sem.

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.

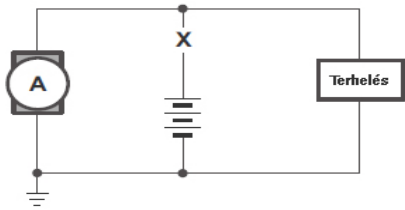
Paragrafus	Leírás
4.2	DC tápfeszültség
4.3	Túlfeszültség
4.4	Ráarakódó AC feszültség
4.5	Tápfeszültség lassú növekedése és csökkenése
4.6	Tápfeszültség megszűnése
4.7	Fordított polaritás
4.8	Földelés és tápfeszültség ofszet
4.9	Nyitott áramkörti tesztek
4.10	Rövidzárvédelem
4.11	Maximálisan megengedhető feszültség
4.12	Szigetelési ellenállás

ISO 16750-2 Közúti gépjárművek – tranziens túlfeszültség védelem vonatkozások

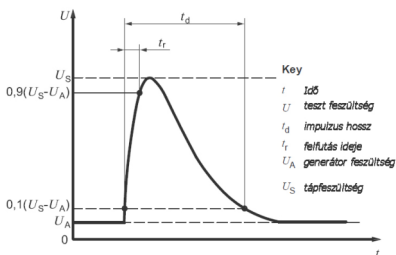
## Load dump védelem szükségessége

PA 4.6 fejezet, ami a tápfeszültség megszűnésével foglalkozik, tartalmazza a Load Dump túlfeszültségéről szóló 4.6.4 bekezdést. A Load Dump akkor lép fel, ha a töltés közben a generátorra kapcsolt terhelés hirtelen megváltozik, azaz például az akkumulátor, vagy más egy

Időbeli lefolyás	Ok	Feszültség amplitúdó	Energiaszint	Gyakoriság
400 ms	Load Dump	< 202 V	> 10 J	Néha
folyamatos	Meghibásodott feszültség szabályzó	18 VB		Néha
<320 us	Induktív terheléskapcsolás	80 V - 300 V	< 1 J	Gyakran
200 ms	Generátor mágneses mezőjének leépülése	-100 V - - 40 V	< 1 J	Minden leállításnál
90 ms	Indítás, akku leválasztás	< 75 V	< 0.5 J	Néha
1 ms	Kábelkötég zavar	< 200 V	< 1 J	Gyakran
<60 ns	Elektrosztatikus kisülés	<25 kV	<10 mJ	Néha



másik jelentős terhelés lekapcsolódik. Ilyen esetben az ábrán látható módon az autóelektronika továbbra is kapcsolatban marad a töltéssel, viszont az eredő impedancia hirtelen megváltozik, aminek hatására egy hosszú lefolyású, nagy energiájú tranzienst szabadul rá a rendszerre.



ISO 16750-2 Load Dump tranzienst impulzus

A szabványban szereplő részletezést az alsó táblázatban találjuk, melyben látható, hogy 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 resetelhető Load Dump elleni védelemnek, úgy, hogy közben ekkora áramot kell tudni kezelni anélkül, hogy az ellenállás változna (drift) a vonalon.

## Első lehetséges megoldás: kapcsolással

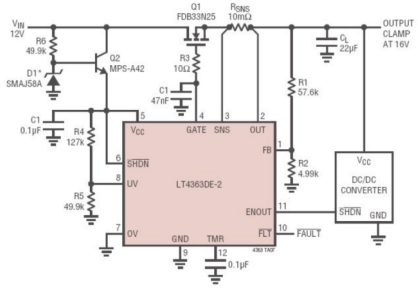
Az egyik lehetséges tápegység dizájn LM5088 (széles bemeneti feszültségű aszinkron buck konverter) IC-t használ, melyet az ábrán látható Load Dump elleni védelemmel láttak el.

Table 5 — Pulse for test A in systems with 12 V and 24 V nominal voltage

Parameter	Type of system		Minimum test requirements
	$U_N = 12\text{ V}$	$U_N = 24\text{ V}$	
$U_S^a$ V	$79 \leq U_S \leq 101$	$151 \leq U_S \leq 202\text{ V}$	10 pulses at intervals of 1 min
$R_i^a$ $\Omega$	$0,5 \leq R_i \leq 4$	$1 \leq R_i \leq 8$	
$t_d$ ms	$40 \leq t_d \leq 400$	$100 \leq t_d \leq 350$	
$t_r$ ms	$10 \left( \begin{smallmatrix} 0 \\ -5 \end{smallmatrix} \right)$	$10 \left( \begin{smallmatrix} 0 \\ -5 \end{smallmatrix} \right)$	

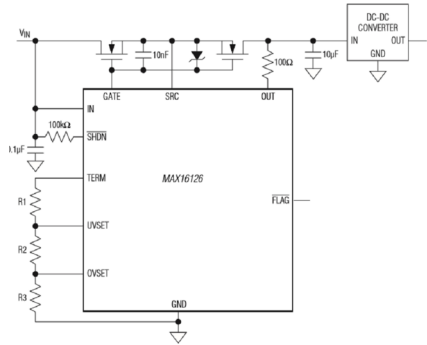
<sup>a</sup> If not otherwise agreed, use the higher voltage level with the higher value for internal resistance, or use the lower voltage level with the lower value for internal resistance.

A működés alapja, hogy a tranzienst megjelenésekor a védelem meghatározott időre lekapcsolja a DC-DC konvertert és az egyéb mögöttes elektronika bemenetéről a feszültséget, majd fix késleltetéssel a tranzienst feltételezett lefutása után visszakapcsolja azt.



Ez a soros Load Dump védelem TL431A precíziós programozható feszültség referenciát használ a pontos leválasztáshoz

Az LM5088 maximális bemeneti feszültsége 75 V, ami szokványos Load Dump túlfeszültségek esetén elfogadható, de az e feletti feszültség megjelenésekor azt le kell kapcsolni a bemenetről.

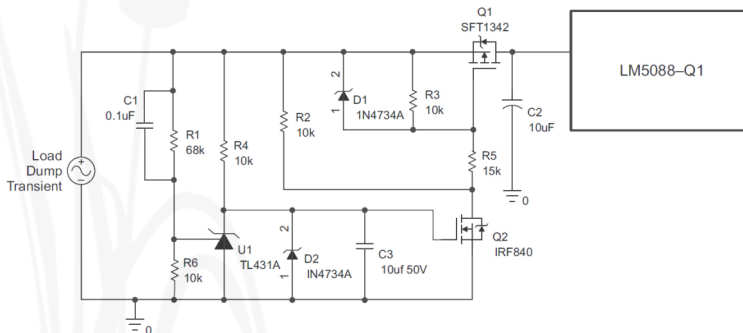


Linear Technology Load Dump védelmi megoldás ill. Maxim Integrated Load Dump védelmi megoldás

Két másik lehetséges elrendezés a DC-DC konverter Load Dump elleni védelmére, – a Linear Technology és a Maxim Integrated megoldásai.

Ha a fenti megoldásokat tekintjük, akkor egyértelmű, hogy a diszkrét komponensek száma miatt a bekerülési költség elég magas, emeli az árat továbbá a nyomtatott áramkör beültetése is.

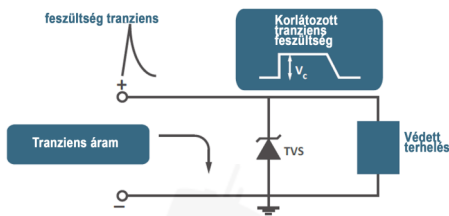
Texas Instruments Load Dump védelem megvalósítása



## Load dump elleni védelem söntöléssel

A gépjárműelektronika túlfeszültség elleni védelmének legalapvetőbb módja a tápfeszültség félvezető tranzienst szupresszor diódával való söntölése.

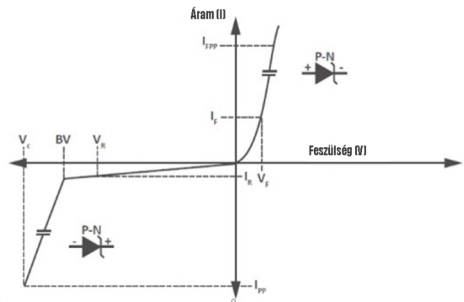
A komponensgyártó kihívása ez esetben az, hogy egy olyan diszkrét komponenst alkosson, mely – az ISO 16750-1 előírásainak megfelelően – képes kezelni tíz egymást követő alkalommal a 350-400 ms hosszan tartó 30-60A nagyságú surge áramot tíz percen keresztül.



Egyirányú TVS Dióda sönt üzemű túlfeszültség védelmi elrendezésben

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.



Egyirányú TVS dióda karakterisztika

A 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 tranzienst túlfeszültség elleni védelemre lett tervezve, hiszen a túláramot azonnal söntöli és a védendő áramkörre jutó maradék áramot elviselhető szintre korlátozza.

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 tranzienst 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 a ma gépjárműjében

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 nagyteljesítményű 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.

Emellett a gyártási költségek csökkenése útján további előnyökkel bír a vezető IC gyártók korábban ismertetett védelmi módszereivel szemben helytakarékosága és az áramköri lapok valószínű bekerülési költségének minimalizálása miatt.

Előnyei röviden összefoglalva:

- 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.

