

120 App bei bis zu 150 kHz: Ripple Test nach ISO 21498-2

Von Enrico Neumann, Leiter Produktmanagement bei IAV · Oktober 2026

Ein Ripple-Generator mit 120 App maximalem Rippelstrom über 300 Hz bis 150 kHz. Im Datenblatt klingt das wie ein lösbares Problem. Die Einzelkomponente existiert, die Spezifikation steht, der Beschaffungsprozess läuft.

In der Praxis sieht das oft anders aus. Das wissen wir aus vielen Projekten in unserem Stollberger Prüffeld. Zwischen der Anlieferung der letzten Komponente und dem ersten laufenden, normgerechten Testaufbau liegen häufig mehrere Monate, manchmal Jahre.

Dieser Artikel zeigt, wo beim Voltage Ripple Test die echten Stolperstellen liegen und wie wir sie gelöst haben. Einiges davon lässt sich direkt auf das eigene Test Setup übertragen.



Das IAV Auros Iso im Prüffeld.

Was die ISO 21498-2 beim Ripple Test im Detail fordert

Die ISO 21498-2 umfasst elektrische Tests für High-Voltage-Komponenten in elektrisch betriebenen Straßenfahrzeugen. Sie sollen die sichere und störungsfreie Funktion auch mehrerer HV-Komponenten im HV-Netz des Fahrzeugs sicherstellen. Die Abschnitte 6.5 und 6.6 decken die Ripple Voltage ab, also den Spannungsripple.

In 6.5 geht es um Generated Voltage Ripple. Der DUT (Device Under Test) wird in typischen Betriebspunkten betrieben. Dazu zählen Lastvariation sowie obere, nominelle und untere Betriebsspannung.

Er darf eine frequenzabhängige Rippelspannungskurve nicht überschreiten. Die Bewertung erfolgt im Zeit- und Frequenzbereich. Sie stellt sicher, dass die physikalisch bedingten Störungen durch die Leistungselektronik des DUT in einem zulässigen Bereich bleiben.

In 6.6 geht es um Immunity to Voltage Ripple. Hier wird der Ripple als sinusförmige Spannungswelle auf die Betriebsspannung (HV-DC-Spannung) aufmoduliert. Die Amplitude ist vorgegeben und hängt von der Frequenz ab.

Damit wird der Betrieb einer anderen HV-Komponente im HV-Bordnetz nachgestellt, die normkonforme Störungen verursacht. Unter diesen Randbedingungen muss die uneingeschränkte Funktion des DUT gewahrt bleiben.

Beide Tests stellen hohe Anforderungen an die Messtechnik. Neben der Kommunikation mit dem DUT über CAN, die maximal Abtastraten von 100 Hz zulässt, sind für die Detektion der Rippelfrequenzen bis 250 kHz andere Datenerfassungsgeräte für Strom und Spannung notwendig.



HV-Stromversorgung im IAV Auros Iso. Der DC-Anteil kommt aus dem Netzteil, der AC-Anteil aus dem Ripple Generator.

Das Messtechnik-Problem und unsere Lösung

Die Spannungsklasse B lässt Spannungen bis 1500 V zu. Praktisch nutzen HV-Fahrzeuge Nennbetriebsspannungen von 400 V oder 800 V. Bei Nutzfahrzeugen sind auch 1200 V üblich. Auch Zwischenwerte sind möglich.

Je nach Anwendung werden die Ströme mit kontaktlosen Stromsensoren gemessen. Das gilt für Frequenzen bis 250 kHz. So fordert es die Norm.

Wir haben dafür Messtechnik integriert, die wir selbst in unserem Testfeld verwenden. Der Power-Analyser PA8 von Dewetron ist modular aufgebaut und bietet bis zu 32 Messkanäle. Pro Messkanal sind Abtastraten bis zu 10 MS/s möglich. Das bietet Spielraum für höhere Anforderungen und funktionale Anwendungen.

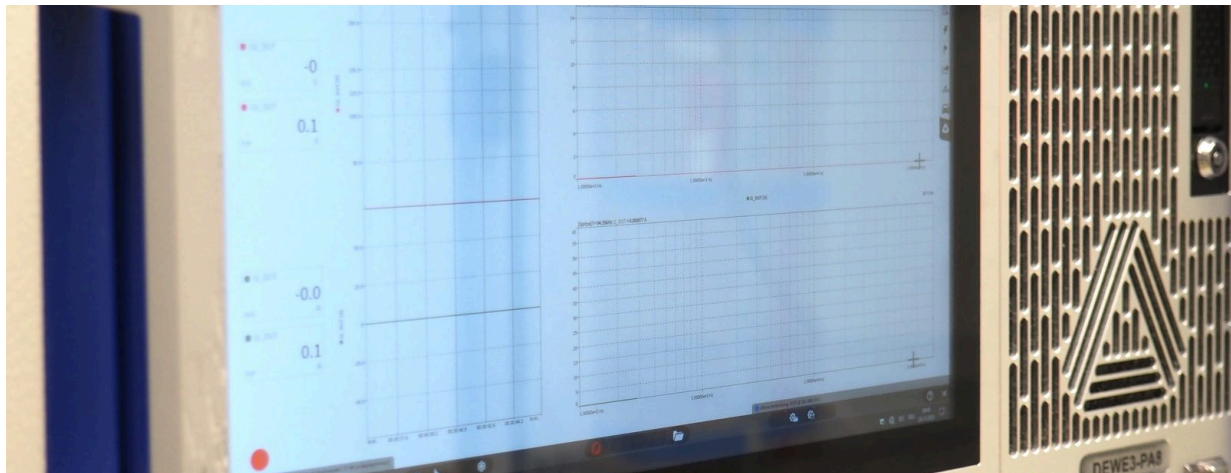
Nach ISO 21498-2 sind für die Rippeltests Abtastraten von ≥ 1 MS/s gefordert. Über CAN- und Netzwerkschnittstellen wird der Datenaustausch mit peripheren Geräten bidirektional unterstützt.

Für den Test „Immunity to Voltage Ripple“ ist spezielle Hardware nötig. Nur wenige Anbieter verfügen über diese Ausstattung und können den Test überhaupt durchführen. Das macht ihn innerhalb der ISO 21498-2 zu etwas Besonderem.

Das Spannungssignal aus der HV-Stromversorgung muss mit den geforderten sinusförmigen Stromsignalen überlagert werden. Dies gilt für ein Frequenzband von 10 Hz nach der alten ISO-Norm bis 150 kHz. In der ISO 21498-2:2024 beginnt das Frequenzband bei 100 Hz.

Warum ein einzelner Ripple Generator den Ripple Test nur halb abdeckt

Frequenzen bis 1 kHz moduliert eine moderne Stromversorgung, wie die REGATRON G5, direkt auf die DC-Spannung. Für höhere Frequenzen wird ein Ripple Generator eingesetzt. Er arbeitet mit einer Ripple Control Unit (RCU) und einer Connection Box von Fa. IMP.



Der Power-Analyser PA8 von Dewetron erfasst Strom und Spannung mit bis zu 10 MS/s pro Kanal.

Schaltungssetup und Umschaltsschwelle werden intern realisiert. Daher ist kein Umbau nötig. Der Test läuft in einem Stück durch.

Bei DUTs mit kleiner Leistung kann die Impedanz des DUT bei niedrigen Frequenzen größer sein als die der Stromversorgung. Der über die Connection Box eingekoppelte Rippelstrom würde dann in die Stromversorgung fließen. Er würde nicht im DUT den gewünschten Spannungsanstieg erzeugen. Dagegen ist eine frequenzabhängig zuschaltbare Zusatzinduktivität (Drossel) verbaut.

Beim Ripple-Test arbeiten zwei Stromquellen. Die Stromversorgung liefert den DC-Anteil und sichert die Funktion des DUT. Der Ripple-Generator liefert nur den AC-Anteil.

Da sich die Impedanz des DUT mit der Frequenz ändert, ist bei jedem Frequenzschritt ein anderer Rippelstrom nötig. So wird die in der Prüfspezifikation geforderte Rippelspannung erreicht. Die RCU misst die Rippelspannung frequenzselektiv permanent und regelt den Rippelstrom entsprechend.

Üblicherweise wird ein Resonanzbereich durchfahren, der sich aus Induktivität und Widerstand des HV-Kabels zum DUT und der Kapazität des Zwischenkreiskondensators ergibt. Bis zum Impedanzminimum des Prüfaufbaus ist für dieselbe Rippelspannung ein immer größerer Strom nötig.

Zum Schutz des DUT begrenzt die RCU den maximalen Rippelstrom im Regelmodus U/I (Spannungsregelung mit Strombegrenzung). So bleibt die Spannung über den ganzen Frequenzbereich auf der Sollkurve. Um die Resonanzfrequenz gibt es den typischen Einbruch der Peak-to-Peak-Spannung. Damit sind die Randbedingungen für den normkonformen Test Immunity to Voltage Ripple erfüllt.

Bewertet wird über den Operationsstatus des DUT, der keinen Fehlerzustand einnehmen darf. Außerdem über Größen wie das abgegebene Drehmoment, auf das der Ripple keinen Einfluss haben darf.

Der Ripple Generator im IAV Auros Iso liefert 120 App oder 200 App bei bis zu 80 Vpp. Die Geräte sind für SiC-Leistungselektronik ausgelegt. Diese arbeitet mit höheren Taktfrequenzen und steileren Schaltflanken als konventionelle IGBT-Technik.

In Tests, die das Einflussverhalten des DUT auf das HV-Bordnetz bewerten (zum Beispiel Generated Voltage Ripple, Generated Voltage Slope), fordern die Prüfspezifikationen HV-Widerstände (zum Beispiel 100 mΩ) im Hardware-Setup. Sie bilden den Widerstand von HV-Batterie und Stromleiter nach und begrenzen den Stromfluss. Dies kann zu steileren und höheren Spannungsanstiegen führen.

Die dafür vorgesehenen Hardware-Widerstände sind tauschbar und luftgekühlt. Sie verhalten sich linear, sodass eine Regelung in der Stromversorgung das Prüfergebnis nicht beeinflusst.

Bei der HV-Stromversorgung liegt das Augenmerk auf dem transienten Verhalten. Der Test „Immunity to Load Dump Voltage“ fordert Spannungsgradienten von $\geq 250 \text{ V/ms}$. Dabei liegt der Spannungshub bei etwa 50 bis 80 V. Dies wird für Verbraucher bis 22 kW eingehalten.

Für die Integration aller Tests der VW 80300 erfüllen wir die scharfe Anforderung von 3000 V/ms , wenn die Randbedingungen bekannt sind. Dazu zählen Systemspannung, Zwischenkreiskapazität, Spannungshub.



Zwischen Datenblatt und laufendem Test klafft eine Lücke?

Sie tüfteln gerade selbst an so einem Aufbau, und zwischen Datenblatt und laufendem Test klafft noch die eine oder andere Lücke? Dann melden Sie sich gern direkt bei uns. Ob kurze Fachfrage zu einem einzelnen Test oder ein Austausch über den kompletten Aufbau, ich gehe das mit Ihnen durch. Und wer es lieber an der laufenden Hardware sieht, ist bei uns im Prüffeld in Stollberg jederzeit willkommen.

[Termin mit Enrico Neumann buchen](#)

Warum der Ripple Test kein isoliertes Problem ist

Das IAV Auros Iso ist so konzipiert, dass der DUT am HV-Ausgang angeschlossen wird. Alle von der Norm geforderten Randbedingungen hinsichtlich Induktivitäten und Kapazitäten werden erfüllt.

Die typischen Verschaltungen zwischen der HV-Quelle und dem DUT werden intern über eine Switchbox hergestellt. Die Pfade werden dabei lastfrei geschaltet. Für die Tests „Generated Load Dump Voltage“ und „Short Circuit“ ist eine Schaltung unter Last erforderlich. Die entsprechenden Schaltelemente sind dafür dimensioniert und bei Verschleiß austauschbar.

Dadurch wird der DUT nur einmal angeschlossen, und die HV-Abnahme des Prüfstands ist nur einmal notwendig. Alle Tests nach ISO 21498-2 laufen danach automatisch nacheinander ab, in beliebiger Reihenfolge. Unter gegebenen Randbedingungen können sie auch unbemannt und über Nacht laufen.

Ohne ein solches Konzept wird der Prüfling für den Ripple Test an den Ripple Generator und die Messtechnik angeschlossen. Für den nächsten Test muss umgekabelt werden. Jedes Umkabeln verändert Kontaktwiderstände und Leitungslängen und damit die elektrischen Randbedingungen. Bei 15 Tests summieren sich diese Veränderungen und schmälern die Messqualität.

Das Zusammenspiel ist die eigentliche Aufgabe

Jedes Teilproblem ist für sich lösbar, und die passenden Komponenten stehen in jedem Katalog. Das Zusammenspiel steht in keinem.

Die eigentliche Herausforderung: alle Lösungen gleichzeitig in einem Aufbau unterzubringen, der die elf Tests der ISO 21498-2 auditfest abbildet.

Den letzten Schritt macht die Automatisierung. Erst wenn die Prüfabläufe reproduzierbar, sicher und lückenlos dokumentiert durchlaufen, wird aus einer Ansammlung von Einzelgeräten ein verlässliches Prüfsystem.

Diese Abstimmungs- und Automatisierungsarbeit haben wir über Jahre zusammengeführt. Die Tests der ISO 21498-2 sind vollständig und ohne Umbau zwischen den Prüfungen abgedeckt; dieselben Prüfungen sind zugleich Bestandteil umfassenderer OEM-Normen wie der VW 80300.

Reden wir über Ihren Aufbau

Sie drehen an einzelnen Stellschrauben? Sie möchten sich über den Gesamtaufbau austauschen? Wir freuen uns über eine Nachricht oder einen Besuch in unserem Prüffeld Stollberg.

Termin vereinbaren



Über den Autor: Enrico Neumann

Leiter Produktmanagement bei IAV, Produktverantwortlicher für IAV Auros Iso

Die in diesem Artikel beschriebenen Praxiserfahrungen stammen aus dem täglichen Betrieb des IAV-Prüffelds in Stollberg. Dort ist unser HV-Testsystem seit Jahren für Kundenprojekte im Einsatz.

enrico.neumann@iav.de · Tel.: +49 5371 80-51724

Mehr zu IAV Auros Iso

Alle Informationen zum Prüfsystem für elektrische Tests nach ISO 21498-2, VW 80300 und MBN 11123: www.iav.com/de/produkte-und-services/iav-auros-iso

Ansprechpartner

Enrico Neumann
Leiter Produktmanagement
enrico.neumann@iav.de

Marco Ullrich
Produktmanager
marco.ullrich@iav.de

Thomas Beyer
Sales Manager
thomas.beyer@iav.de

IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr · Carnotstraße 1 · 10587 Berlin · www.iav.com