

# EMV - elektromagnetische Verträglichkeit

## Teil 25 -Netzurückwirkungen-

**Der vorliegende Teil der Artikelserie beschäftigt sich mit den Messungen und dem erforderlichen Meßequipment zur normenkonformen Messung der Netzurückwirkungen. Dabei konzentrieren wir uns auf die besonders wichtigen Bereiche Stromüberschwingungen und Flicker.**

### Allgemeines

Nachdem wir im vorangegangenen Artikel die Normensituation im Bereich der Netzurückwirkungen betrachtet haben, beschäftigen wir uns in diesem Teil mit den Messungen und dem dazu erforderlichen Meßequipment.

Das Themengebiet der Netzurückwirkungen wird in naher Zukunft noch an Wichtigkeit gewinnen, da mit dem 01.06.1998 die Übergangsfristen, die von den entsprechenden Normen gewährt werden, ablaufen und dann die Anwendung dieser Normen zwingend erforderlich wird. Jeder Hersteller oder Importeur muß dann für die in seinen Verantwortungsbereich fallende Erklärung der Konformität eines Gerätes, d. h. für die CE-Kennzeichnung, die Einhaltung der Norm für Stromüberschwingungen und Spannungsschwankungen und Flicker bestätigen, wozu im allgemeinen entsprechende Messungen erforderlich sind.

### Stromüberschwingungsmessung

Die Messung der Stromüberschwingungen wird durch die europäisch harmonisierte Norm EN 61000-3-2 geregelt. Die Norm regelt das Prüfverfahren und die Grenzwerte für diesen Teil der Netzurückwirkungen. Ein konkreter Meßaufbau, wie er bei anderen EMV-Prüfungen meist genauestens vorgeschrieben wird, ist hier in der Norm nicht gefordert. Dies ist damit zu begründen, daß die auftretenden Störgrößen, im Gegensatz z. B. zur Funkstörausendung, nicht von äußeren Parametern, wie der Lage der Kabel über der Bezugsmasse, der räumlichen Lage des Prüflings usw. abhängig sind.

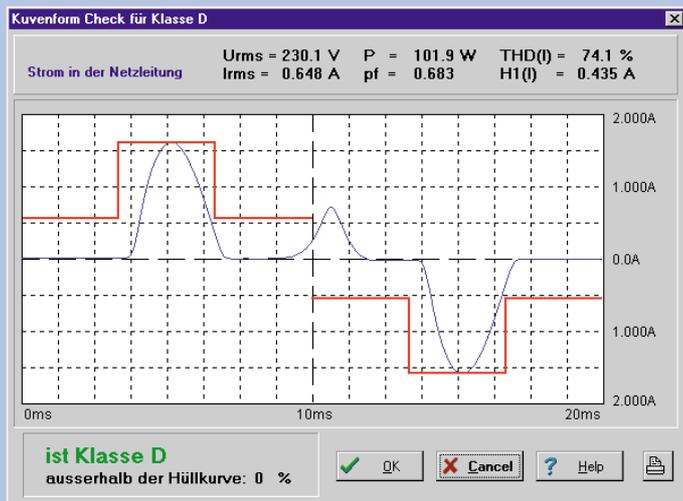
Die Stromüberschwingungen sind Störaussendungen, die nur in Verbindung mit dem Netzanschluß in einem Frequenzbereich bis max. 2 kHz zu betrachten sind. Aufgrund dieser definierten Verhältnisse und des eingeschränkten Frequenzbereiches ergibt sich eine gute Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse, die eine exakte

Definition des Meßaufbaus überflüssig macht.

Diese Tatsache sorgt auch dafür, daß die Messung der Stromüberschwingungen keine besonderen Kenntnisse über die Störausbreitungsarten, wie z. B. die verschiedensten Koppelmechanismen, erfordert. Im Gegensatz dazu ist es z. B. bei Störabstrahlungsmessungen im Freifeld unbedingt notwendig, die Abstrahleigenschaften von Anschlußleitungen korrekt beurteilen zu können, da diese einen wesentlichen Einfluß auf das Meßergebnis haben.

Die eigentliche Messung der Stromüberschwingungen gestaltet sich recht einfach und beschränkt sich im Prinzip auf die korrekte Bedienung des Meßequipments. Bevor aber eine Messung erfolgen kann, muß die Klassifizierung des zu prüfenden Gerätes erfolgen. Dabei kann das in Bild 1 im EMV-Artikel Teil 24 (siehe „ELVjournal 4/97“) dargestellte Flußdiagramm verwendet werden.

Für die Klassen B und C sind bestimmte Produktgruppen definiert, so daß hier die



**Bild 3: Automatische Klasse-D-Überprüfung**

auch der Oberwellengehalt, d. h. der Klirrfaktor der Spannungsquelle und die Spannungssymmetrie sind genau definiert.

Besonders um letztere Bedingungen erfüllen zu können, sind normenkonforme Meßgeräte mit einer eigenen 230V-Wechselspannungsquelle ausgestattet. Diese aufwendige Maßnahme, mit einem internen Wechselspannungsnetzteil 230V/16A eine der Norm entsprechende Spannungsquelle zu erzeugen, schlägt sich natürlich auf den Preis eines solchen Oberschwingungs-Analysators nieder.

So können die zur Zeit am Markt befindlichen Meßgeräte in zwei Gruppen aufgeteilt werden: Analysatoren mit interner Netzspannungsquelle und ohne Wechselspannungsnetzteil. Letztere besitzen keine interne 230V-Quelle, sondern nutzen direkt die Netzversorgungsspannung. Da diese vor allem in Industrienetzen z. T. stark verzerrt ist, können hiermit nur eingeschränkte Aussagen über den Oberschwingungsgehalt der Stromaufnahme des Prüflings getroffen werden. Durch die Überlagerung von netzseitigen Verzerrungen und gerätebedingten Oberwellen können Interferenzen auftreten und so die Messung verfälschen.

Bei einer ausreichend guten Netzversorgungsspannungsqualität, die vor und nach jeder Messung geprüft werden muß, ist es aber auch mit solchen preisgünstigen Meßgeräten möglich, verwertbare Aussagen über den Oberschwingungsgehalt des Netzeingangstromes zu machen. Für normenkonforme Messungen ist jedoch ein Stromoberschwingungs-Analysator mit eigenem Wechselspannungsnetzteil unumgänglich.

Das eigentliche Meßverfahren zur Erfassung der Stromoberschwingungen ist nicht vorgeschrieben, so daß verschiedene Arten von Oberschwingungs-Analysatoren verwendbar sind. Sowohl Messungen im Frequenzbereich als auch Zeitbereichsmessungen mit anschließender Umrechnung sind möglich, wobei aber für die Festlegung des Bezugsmeßgerätes, d. h. des für Streitfälle gültigen Meßverfahrens, die Zeitbereichsmessung mit anschließender DFT (Diskrete Fourier-Transformation) in Vorbereitung ist. Dieses Verfahren

Einteilung relativ einfach und eindeutig möglich ist. Dabei haben diese beiden Klassen (B und C) einen Vorrang gegenüber den Klassen A und D, d. h. auch wenn aufgrund anderer Auswahlkriterien eine Einteilung in die Klassen A oder D möglich wäre, so ist die bevorzugte Einteilung in B und C vorzunehmen.

Die Klasse A stellt eine Auffangklasse dar, die alle Geräte erfaßt, die nicht in eine andere Klasse eingeteilt werden können. Die Einteilung in die Klasse D der Norm erfordert eine genauere Erläuterung, da hier mehrere Klassifizierungskriterien erfüllt sein müssen.

Für die Einteilung eines Gerätes in die Klasse D ist, neben einer Wirkleistungsaufnahme  $P \leq 600$  W, die Signalform der Stromaufnahme das bestimmende Kriterium. Wird angenommen, daß das Gerät in die Klasse D eingeteilt werden kann, so ist dies durch eine entsprechende Messung des Stromverlaufes unter den späteren Meßbedingungen zu bestätigen. Hierzu kann die Stromaufnahme oszillografiert und mit der in der Norm angegebenen Hüllkurve verglichen werden. Dabei muß die Kurvenform des Eingangstromes in jeder Halbperiode mindestens zu 95% innerhalb der Normenüllkurve liegen, d. h. die Stromaufnahme darf nur kleine „Spitzen“ außerhalb der Einhüllenden besitzen. Zu beachten ist dabei, daß die in der Norm angegebene Hüllkurve auf den Spitzenstrom normiert ist.

Diese Vorgehensweise stellt aber eine recht mühsame Methode dar, einfacher ist die Feststellung - Klasse D oder nicht - mit Hilfe der in den meisten Stromoberschwingungs-Analysatoren vorhandenen Klasse-D-Erkennung. Hier wird der Eingangstrom abgetastet und mit der Einhüllenden lt. Norm verglichen. Der prozentuale Anteil etwaiger „Ausreißer“ in der Signalform wird berechnet und die Messung online, d. h. wie bei einem Oszilloskop, auf dem PC-Bildschirm dargestellt. Gleichzeitig berechnet das Meßgerät die derzeiti-

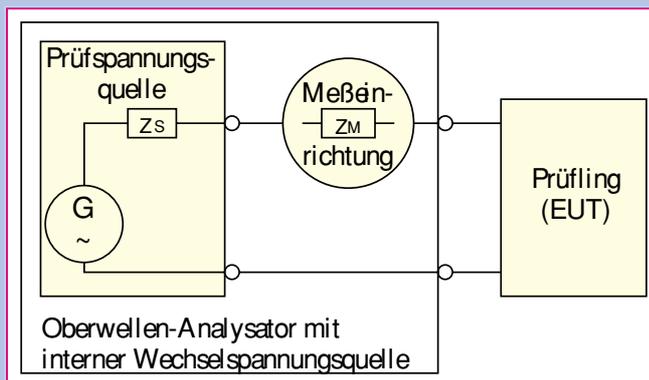
unterhalb der Hüllkurve der Normvorgabe liegt. Mit der Wirkleistungsaufnahme  $< 600$  W sind somit alle Kriterien für eine Einteilung dieses Prüflings in die Klasse D erfüllt, und es kann eine entsprechende Prüfung erfolgen.

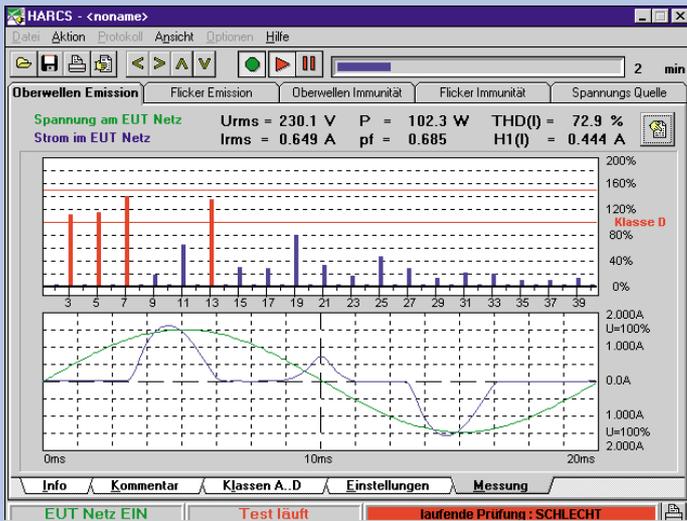
Damit nicht jede noch so kleine Schaltung einer aufwendigen und teuren Prüfung unterzogen werden muß, ist in der Norm ein Leistungslimit angegeben. Danach gelten für Geräte, die durch die Eingangstromsignalform in die Klasse D fallen, aber eine Eingangswirkleistung  $P \leq 75$  W besitzen, keine Grenzwerte. Auf eine Prüfung kann somit verzichtet werden, es ist nur die Einteilung in die Klasse D zu belegen und eine Wirkleistungsaufnahme  $P \leq 75$  W nachzuweisen.

Diese 75 W-Grenze wird zum 01.07.2000 auf  $P \leq 50$  W reduziert. Mit dieser unteren Grenze kommt die Normungskommission der Industrie insofern entgegen, da hierdurch ein Großteil der Geräte, bei denen die Unterdrückung von Stromoberschwingungen aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchführbar ist, diese Norm erfüllen kann.

Nachdem ein Prüfling einer der Klassen A bis D zugeordnet wurde, kann die entsprechende Messung erfolgen. In Abbildung 4 ist die prinzipielle Prüfschaltung dargestellt. Als Anforderungen sind neben der Genauigkeit und des Innenwiderstandes des Meßwertaufnehmers auch die Qualität der speisenden Spannungsquelle genau definiert. Hier müssen für normenkonforme Prüfungen bestimmte Parameter eingehalten werden. So sind Spannungsamplitude und Frequenz auf die Nominalwerte 230 V und 50 Hz mit nur kleinen Toleranzbändern festgelegt. Aber

**Bild 4: Prüfschaltung Stromoberschwingungen**





**Bild 5:** Stromüberschwingungsmessung

länger als 10 Sekunden nach erstmaligem Ein- oder endgültigem Ausschalten auftreten, nicht berücksichtigt. Weiterhin ist während der Übergangszustände ein erhöhter Stromüberschwingungsgehalt zulässig. Es dürfen während höchstens 10 % einer beliebigen Beobachtungszeit von

wird schon von den meisten normenkonformen Prüfgeräten verwendet.

Bei der eigentlichen Prüfung eines Gerätes wird der Oberwellengehalt der Stromaufnahme für die Störaussendungsbeurteilung gemessen. Da die Stromaufnahme und damit auch der Oberschwingungsgehalt eines Prüflings von dessen Betriebsbedingungen abhängig ist, sind diese für einige Produkte genau festgelegt, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Sind für einen Prüfling keine Prüfbedingungen vorgeschrieben, so ist, wie bei allen EMV-Prüfungen üblich, der worst-case-Fall zu testen. Dies bedeutet, der Prüfling ist in derjenigen Konstellation zu betreiben, in welcher der maximale Oberwellengehalt des Eingangstromes erwartet wird.

Die Meßdauer für die Prüfung ist nicht festgelegt, daher kann der Zeitaufwand für eine Messung von Prüfling zu Prüfling sehr unterschiedlich sein. Einzige Voraussetzung ist, daß die Meßdauer dem Betriebszyklus des Gerätes angepaßt ist.

Bei nicht programmgesteuerten Geräten oder Geräten, bei denen die Stromaufnahme kaum vom Programmablauf abhängig ist, ist somit eine sehr schnelle Prüfung möglich.

Andererseits bedeutet dies auch, daß bei Geräten, die einen internen Programmablauf besitzen, die Meßzeit auch mindestens den Zeitraum eines gesamten Programmablaufes abdecken muß, wodurch die Messung sehr zeitintensiv werden kann. Da für solche Geräte vor allem während der Übergangszustände zwischen zwei stationären Zuständen mit erhöhten Oberschwingungen zu rechnen ist, wird in der Norm bei der Festlegung der Grenzwerte noch zwischen dem eingeschwungenen und dem transienten Zustand des Prüflings unterschieden. Für den stationären Zustand gelten die in den Normen angegebenen Grenzwerte, während für Übergangszustände Besonderheiten zu beachten sind.

So werden Oberschwingungen, die nicht

2,5 Minuten Oberschwingungen mit 150 % des Grenzwertes auftreten.

Die eigentliche Prüfung eines Gerätes ist, wenn alle Prüfbedingungen bedacht sind, recht einfach. Der Oberschwingungs-Analysator liefert die Meßwerte bis zur 40. Ordnung, so daß für den Anwender nur noch die Aufgabe bleibt, die Meßwerte mit den entsprechenden Normengrenzwerten zu vergleichen. Aber auch dies wird in den meisten Fällen von einer entsprechenden Software, die auch die Steuerung des Analysators kontrolliert, übernommen.

Die in der Stromüberschwingungsnorm definierten Geräte-Klassen unterscheiden sich durch unterschiedliche Grenzwerte. Diese sind als absolute Stromwerte (Klasse A, B und C) oder als relative Grenzwerte in bezug auf die Wirkleistungsaufnahme (Klasse D) angegeben. Somit ist bei allen Klasse-D-Geräten auf jeden Fall die Messung der Eingangswirkleistung notwendig, um die gültigen Grenzwerte zu erhalten.

Ein typisches Meßergebnis eines in der Klasse D einzuordnenden Prüflings ist in Abbildung 5 dargestellt. Hier sind im oberen Teil der Grafik die auftretenden Stromüberschwingungen bis zur 39. Ordnung in Form eines Balkendiagramms übersichtlich dargestellt. Die geradzahigen Oberschwingungen werden bei Klasse-D-Prüflingen nicht berücksichtigt, da aufgrund der Kurvenform nur die ungeradzahigen Oberschwingungen mit nennenswerten Pegeln auftreten. Die zu diesen Stromüberschwingungen gehörenden Verläufe von Strom und Spannung sind im unteren Teil der Grafik dargestellt. Die Skalierung der Oberschwingungsbalken erfolgt in %, wobei die 100%-Marke den aktuell gültigen Grenzwert der jeweiligen Oberschwingung darstellt. Aus dem Bild ist weiterhin deutlich zu erkennen, daß dieses Gerät die Normenanforderungen der EN 61000-3-2 Klasse D nicht einhält und somit eine Überarbeitung des Gerätes notwendig ist.

Die Messung der Stromüberschwingungen mit dem entsprechenden Meßequipment stellt sich somit als sehr einfach dar. Der Prüfling wird an den Oberschwingungs-Analysator angeschlossen, die Prüfbedingungen, sofern sie für dieses Gerät in der Norm definiert sind, werden am Prüfling eingestellt, und die Prüfsoftware übernimmt die Messung. Es ist dann nur noch die Normenklasse anzugeben, und die Software gibt über eine „bestanden - nicht bestanden“ Ausgabe ein eindeutiges Prüfergebnat aus. In ähnlich einfacher Form lassen sich die Flickerstörungen messen, die wir nun näher betrachten wollen.

### Spannungsschwankungs- und Flickermessung

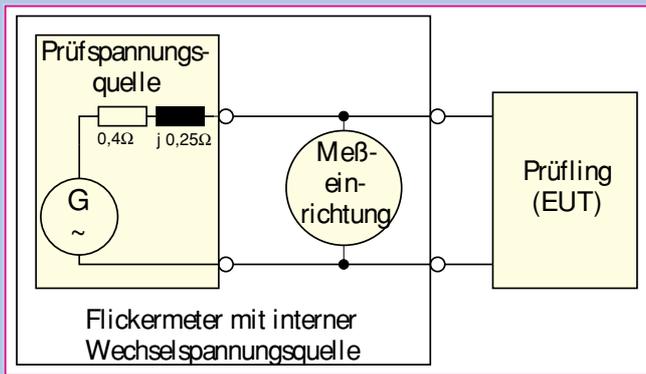
Die Grenzwerte und Meßverfahren für die Spannungsschwankungen und die daraus resultierenden Flicker-Störungen sind in der EN 61000-3-3 reglementiert. Spannungsschwankungen treten immer dann auf, wenn sprunghafte Stromänderungen einen Spannungsabfall an der Netzimpedanz hervorrufen. Eine Auswirkung dieser Spannungsschwankungen ist die Leuchtdichteänderung von Lampen, der sogenannte Flicker.

Die Spannungsänderung kann noch rein physikalisch betrachtet und direkt mit einfacher Meßausrüstung gemessen werden. Für die Beurteilung des Flickerwertes treten jedoch physiologische Bewertungen hinzu. Dieses subjektive Empfinden des Beobachters wird durch die Höhe der Spannungsänderung und deren Wiederholrate beeinflusst. Dieser Zusammenhang wurde schon im vorherigen Teil dieser Artikelserie behandelt und ist auch in Abbildung 2 im „ELVjournal 4/97“ grafisch dargestellt. Basierend auf dieser dort dargestellten Flickerkurve ist ein sogenanntes Flickermeter definiert, das den eigentlichen Flickerwert bestimmt.

Ein Flickermeter ermittelt aus der Höhe der Spannungsänderung, der Wiederholrate, der Dauer und dem zeitliche Verlauf der Änderung eine statistische Verteilung, woraus letztlich der Flickerwert berechnet wird. Dieses Verfahren ist recht aufwendig und kompliziert und soll uns hier nicht weiter beschäftigen, da dies für den eigentlichen Meßablauf nicht von Bedeutung ist. Die zur Messung der Flickerwerte eingesetzten Flickermeter übernehmen diese Berechnungs- und Filtermethoden und sorgen so für eine komfortable Meßmöglichkeit.

Auch bei der Flickermessung kann auf einen speziell genormten Meßaufbau verzichtet werden, da sich auch hier aufgrund der Art der Störaussendungen eine gute Reproduzierbarkeit ergibt.

Die prinzipielle Meßschaltung ist in Abbildung 6 dargestellt. Da sich Schwankungen der Versorgungsspannungsparamete-



**Bild 6: Prüfschaltung Flickermessung**

ter, wie Netzspannung, Frequenz, Netzimpedanz usw., direkt auf die Messungen auswirken würden, sind auch in dieser Norm die Parameter der Versorgungsspannungsqualität festgelegt. So ist hier neben der Stabilität der Spannungsamplitude vor allem die genau definierte Quellenimpedanz wichtig, da sich an ihr alle Laststromänderungen in die zu messenden und zu bewertenden Spannungsschwankungen wandeln.

So ist die Netzimpedanz für einphasige Messungen mit  $0,4 \Omega + j 0,25 \Omega$  vorgeschrieben. Um diesen niedrigen Wert zu gewährleisten, ist von der Quelle ein Innenwiderstand von  $\approx 0 \Omega$  gefordert. Dabei müssen die Spannungsstabilität mit  $\pm 2 \%$ , die Frequenz mit  $50 \text{ Hz} \pm 0,5 \%$  und der Klirrfaktor mit  $< 3 \%$  eingehalten werden. Um diese Forderungen für eine normkonforme Messung gewährleisten zu können, ist es auch hier unumgänglich, ein aktives 230V-Wechselspannungsnetzteil einzusetzen. In preisgünstigen Meßgeräten wird hierauf verzichtet, was zur Folge hat, daß die ermittelten Meßwerte mit einem gewissen Fehler behaftet sind.

Bei der Flickermessung ist eine Meßzeit von 10 Minuten für den Kurzzeitflicker  $P_{st}$  festgelegt, wobei aber auch hier bei Geräten mit verschiedenen Betriebszuständen ein gesamter Betriebsablauf betrachtet werden muß und die Meßzeit gegebenenfalls zu verlängern ist.

Für den Langzeitflickerwert  $P_{lt}$ , der sich aus der Mittelung von 12 Kurzzeitflickerwerten ergibt, ist somit ein Prüfzeit von min. 2 Stunden erforderlich. Alle in der Norm limitierten Spannungsschwankungen sind während der gesamten Flickermeßdauer zu betrachten. Im allgemeinen werden aber nicht die Grenzwerte für die Spannungsschwankungen von den Prüflingen überschritten, sondern die physiologisch bewerteten Flickerwerte.

Auch bei der Prüfung auf Flickerstörungen gilt, daß der Prüfling so zu betreiben ist, daß größtmögliche Störungen zu erwarten sind. Für einige wenige Produktgruppen gibt die Norm hier genaue Prüfbedingungen vor.

Die eigentliche Messung der Flickerstörung gestaltet sich noch einfacher als die Stromoberschwingungsmessung, da hier keine Klassifizierung notwendig ist. Der Prüfling wird unter worst-case-Betriebsbedingungen betrieben und die Messung gestartet. Alle dann vorgehenden Berechnungen entziehen sich dem Zugriff des Anwenders.

Da die Meßzeit sehr groß ist, wird während der Messung der aktuelle Flickerwert und evtl. auch die der Berechnung zugrundeliegende Verteilungsfunktion dargestellt. So kann mit ein wenig Meßerfahrung abgeschätzt werden, ob der Prüfling die Prüfung bestehen kann oder ein vorzeitiger Abbruch der Prüfung sinnvoll ist, da ein Einhalten der Normengrenzwerte nicht mehr möglich ist.

Wird die Meßzeit voll ausgeschöpft, erhält der Anwender im allgemeinen zum Abschluß der Prüfung den ermittelten Flickerwert, und die

maximalen Spannungsschwankungen und kann dann diese mit den Normengrenzwerten vergleichen oder von einer entsprechenden Steuersoftware vergleichen lassen.

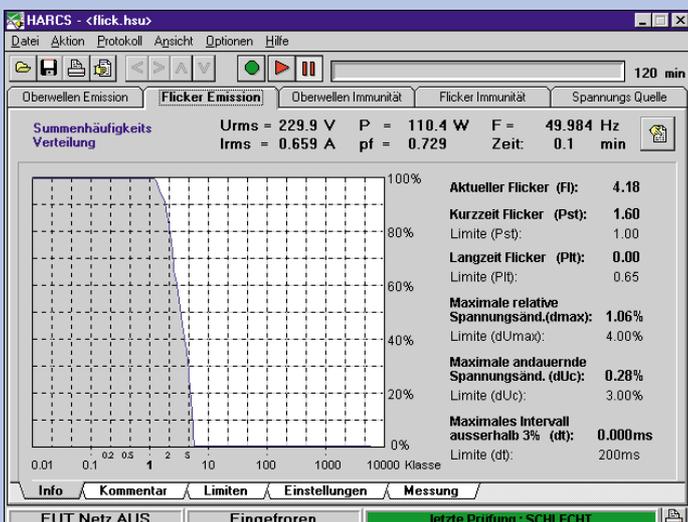
Die Flickerprüfung bietet noch die Besonderheit, daß in der Norm vorgesehen ist, daß keine Prüfung erforderlich wird, wenn der Prüfling mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit keine signifikanten Spannungsschwankungen oder Flicker erzeugt. Diese Klausel ist darauf zurückzuführen, daß die flickererzeugenden Prüflinge relativ leicht erkannt werden können (im allgemeinen Geräte, die große Lasten direkt am Netz schalten und regeln, wie z. B. Heizgeräte) und somit ein Großteil der elektronischen Geräte von einer zeitintensiven Flickerprüfung befreit wird.

Die Prüfung eines Prüflings hinsichtlich der Störaussendungen Spannungsschwankungen und Flicker ist mit dem entsprechenden Meßequipment somit relativ einfach durchführbar. Der Prüfling wird an das Flickermeter angeschlossen und die Prüfsoftware übernimmt dann die Messung und Auswertung, so daß auch hier nur noch eine „Bestanden-/Nicht Bestanden“-Meldung als Prüfergebnis erscheint. Ein typisches Meßergebnis einer solchen Flickerprüfung ist in Abbildung 7 dargestellt.

Da die Messungen der Stromoberwellen und der Spannungsschwankungen (Flicker) viele Parallelen hinsichtlich Spannungsquellenqualität und Meßbedingungen aufweisen, werden diese Meßgeräte fast immer als kombinierte Geräte angeboten, mit denen sich beide Störphänomene beurteilen lassen.

Mit diesem 25. Teil der Artikelserie „EMV - elektromagnetische Verträglichkeit“ schließen wir die Betrachtungen zu dem komplexen Themengebiet der EMV vorläufig ab. Wenn veränderte oder neue Prüfvorschriften durch die Normungsgremien erlassen werden oder sich sonstige neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der EMV ergeben, werden wir diese Themen aufgreifen und in gewohnt ausführlicher und verständlicher Weise aufbereitet veröffentlichen. Durch diese bedarfsorientierte Fortsetzung dieser Artikelserie wird der regelmäßige ELV-Leser auf dem Gebiet der EMV stets auf dem neuesten Entwicklungsstand gehalten.

Durch die umfangreichen Informationen zu den anzuwendenden EMV-Normen, den erforderlichen Prüfaufbauten, dem benötigten Meßequipment und nicht zuletzt durch die detaillierte Beschreibung in der Praxis erprobter Maßnahmen zur Verbesserung der EMV besitzt der interessierte Leser mit den 25 vorliegenden Artikeln ein inzwischen recht umfangreiches Nachschlagewerk zum Themengebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit. **ELV**



**Bild 7: Flickermessung**