

Spannungsschwankungen und Licht-Flicker nach dem Ausstieg aus der Glühlampentechnologie

Referent: Frank Deter, Miele & Cie. KG, OE/LA, Oelde, Deutschland

Co-Autor: Dr. Pierre Beeckman, Philips – EMC Center, Eindhoven, Niederlande

Co-Autor: Norbert Wittig, Panasonic Lighting Europe GmbH, Urbach, Deutschland

1 Einleitung

In vielen Ländern legen die Normen IEC 61000-3-3 [1] und IEC 61000-3-11 [2] verbindlich fest, welche Spannungsschwankungen von Geräten am öffentlichen Stromversorgungsnetz werden dürfen. Die Festlegungen dienen unter anderem der Begrenzung von Licht-Flicker und beruhen auf der alten Annahme, dass in einem Haushalt vorwiegend Glühlampen zur Beleuchtung verwendet werden.

Da die Glühlampentechnologie jetzt vom Markt verschwindet, ergibt sich eine neue Situation. Dieser Beitrag beschreibt, wie unter den neuen Bedingungen die EMV bezüglich Licht-Flicker aufrechterhalten werden soll.

2 Spannungs-Flicker und Licht-Flicker

Laut Definition beschreibt der Flicker den „Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung“. Schwankungen des Lichts können nicht nur störend wirken, sondern sogar die Gesundheit von Menschen beeinflussen. Deshalb müssen die Lichtschwankungen begrenzt werden.

Der Licht-Flicker einer Leuchte hängt von den Spannungsschwankungen am Anschlusspunkt der Leuchte und den Eigenschaften der Leuchte ab.

Spannungsschwankungen der öffentlichen Versorgung können durch Stromschwankungen der angeschlossenen Geräte erzeugt werden. Die Höhe dieser Spannungsschwankungen ist proportional zu der Impedanz von Stromversorgungsnetz und Hausinstallation (Bild 1).

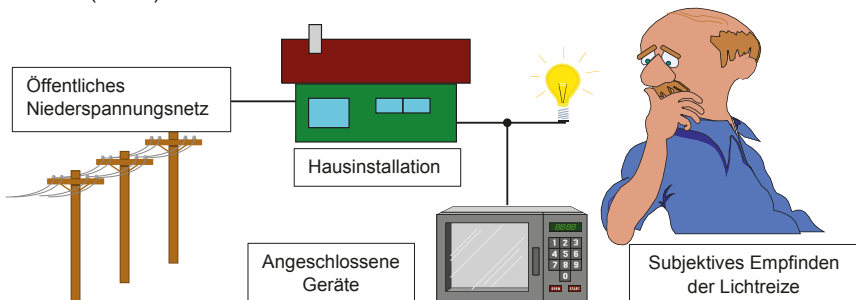


Bild 1 – Subjektives Empfinden der Lichtreize

In der EMV werden unter dem Begriff „Flicker“ meist nur die Spannungsschwankungen verstanden, die von Geräten an einer Referenzimpedanz erzeugt werden.

Der „Spannungs-Flicker“ ist aber auch ein wesentlicher Bestandteil der Spannungsqualität in öffentlichen Stromversorgungsnetzen. Wichtigster Parameter in beiden Fällen ist der Kurzzeitflicker P_{st} , eine dimensionslose Größe, die den Wert 1,0 nicht überschreiten darf.

Verschiedene Menschen haben unterschiedliche Empfindungen der Lichtreize. Zur Festlegung der normativen Forderungen wurde in den 70iger Jahren als Referenz-Lichtquelle eine 60 W Glühlampe festgelegt, mit der die Reaktion von vielen Menschen getestet wurde. Das Ergebnis war eine frequenzabhängige „Flickerkurve“ ($P_{st}=1$), die beschreibt, bei welchen Spannungsänderungen sich Menschen durch Licht-Flicker einer angeschlossenen 60 W Glühlampe gestört fühlen können (Bild 2).

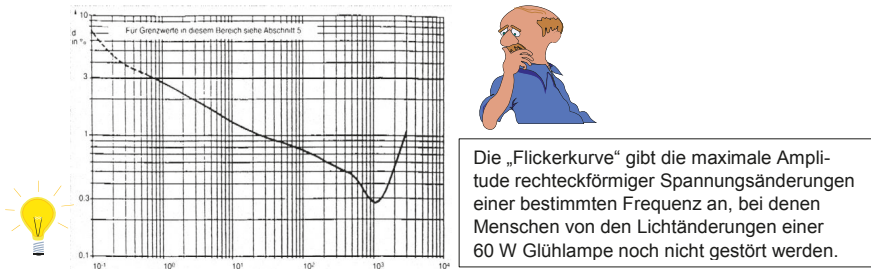


Bild 2 – Darstellung der Flickerkurve $P_{st} = 1$ für rechteckförmige Spannungsschwankungen pro Minute

3 Situation nach dem Verschwinden der Glühlampentechnologie

Mit dem Verschwinden der Glühlampentechnologie kam die Frage auf, ob eine neue Referenzlichtquelle festgelegt werden muß. Viele neue Lampentechnologien sind weniger empfindlich gegen Spannungsschwankungen als die alte Glühlampe. Es wurden aber auch Lampen gefunden, die bei gleichen Spannungsschwankungen höhere Licht-Flicker erzeugen als eine 60 W Glühlampe. Eine Beurteilung dieses Effekts auf Grund des subjektiven Empfindens einzelner Menschen ist allerdings schlecht möglich.

Dazu müssen die Lichtschwankungen objektiv beurteilt werden, also mit einem speziellen Lichtmessgerät, welches das Empfinden eines durchschnittlichen menschlichen Auges nachbildet.

J.J. Gutierrez von der „University of the Basque Country“ hat als Erster solche objektiven Messergebnisse in IEC SC 77A, WG2 präsentiert [4]. (SC77A, WG2 ist die verantwortlichen Arbeitsgruppe für die Normen IEC 61000-3-3 und -3-11.) Verschiedene Lampen wurden Spannungsschwankungen entlang der existierenden Flickerkurve $P_{st} = 1$ ausgesetzt (Bild 3).

Dabei wurde klar, dass ein Handlungsbedarf besteht.

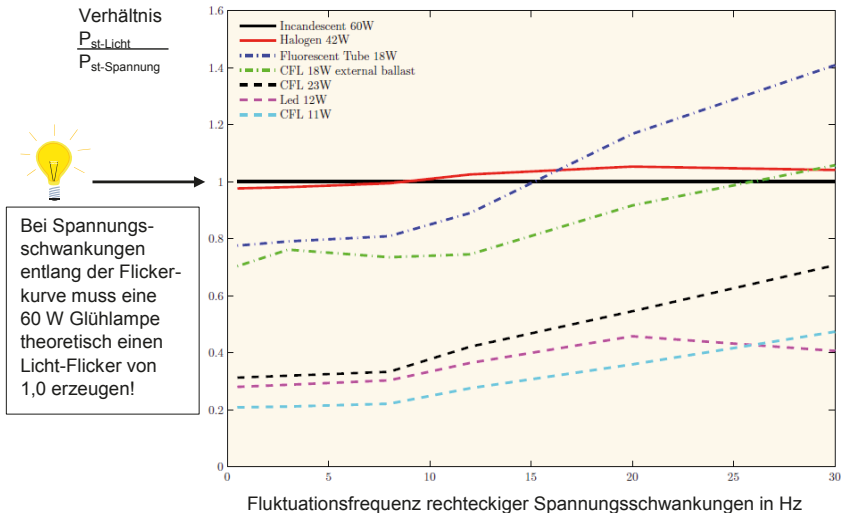


Bild 3 – Gemessener Licht-Flicker bei verschiedenen Lampentechnologien

4 Aufrechterhaltung der EMV mit neuen Lampen

Zur Aufrechterhaltung der EMV nach Verschwinden der Glühlampentechnologie gibt es prinzipiell 2 Möglichkeiten:

1. Von den neuen Lampen wird diejenige, die am empfindlichsten auf Spannungsschwankungen reagiert, als neue Referenz festgelegt und daraus wird eine neue Flickerkurve entwickelt.
2. Die bestehende Referenzkurve wird beibehalten und an alle neuen Lampentechnologien wird die Forderung gestellt, dass sie bei Spannungsschwankungen nicht mehr Licht-Flicker erzeugen als die alte Referenz, die 60 W Glühlampe.

Dabei wird schnell klar, dass der 1. Weg aus verschiedenen Gründen nicht gangbar ist:

- Die verwendeten Technologien in der Beleuchtungsindustrie sind sehr vielfältig und können sich jederzeit ändern.
- Dagegen dauert es sehr lange (geschätzt mindestens 8 Jahre), bis eine neue Referenz entwickelt und in die Praxis umgesetzt werden kann. Abgesehen davon, dass es im Moment fast unmöglich erscheint, sich weltweit auf eine neue Referenz zu einigen, gäbe es keine Garantie, daß die neue Referenzlampe nach Umsetzung aller Normänderungen überhaupt noch auf dem Markt ist.
- Am Markt befinden sich Geräte, die entlang der bestehenden Flickerkurve entwickelt wurden und eine Lebensdauer von mehr als 20 Jahren haben können.
- Es wäre nicht akzeptabel, dass alle anderen elektrischen Geräte sich nach der jeweils empfindlichsten Lampentechnologie richten sollen.

Bei einem gemeinsamen IEC-Forum von TC 34 mit SC 77A wurde entschieden, dass nur der zweite Weg in Frage kommt, die Beibehaltung der bestehenden Referenz [4].

Dazu ist eine genaue Normierung der objektiven Beurteilung des Licht-Flickers von Lampen notwendig, wenn sie bestimmten Spannungsschwankungen ausgesetzt werden. In absolut rekordverdächtiger Zeit hat TC 34 in Zusammenarbeit mit SC 77A einen solchen Test entwickelt, IEC TR 61547-1 [6], der im Weiteren näher erläutert wird. Auch die CIGRE Arbeitsgruppe C4.111 hat sich mit dem Einfluss der neuen Lampentechnologien auf die existierenden Flickernormen beschäftigt. Wahrscheinlich wird auch diese Arbeitsgruppe zu dem Schluss kommen, dass die existierende Flickerkurve in IEC 61000-3-3 als Referenz bestehen bleiben soll. Der Abschlussreport dieser Arbeitsgruppe lag zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Beitrags noch nicht vor.

5 Objektiver Test der Empfindlichkeit von Lampen gegen Spannungsschwankungen

5.1 Das IEC TC34-MT1 Projekt

In 2013 hat die Arbeitsgruppe MT 1 von IEC-TC34 mit der Unterstützung von IEC-SC77A, WG2 den technischen Report IEC TR 61547-1 erstellt. Dieser TR enthält die Beschreibung einer objektiven Testmethode zur Beurteilung der Empfindlichkeit von Lichtquellen bei Spannungsschwankungen. Dabei basiert der Technische Report auf der IEC 61000-3-3 „Grenzwerte - Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 16 A je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen“ und der Norm IEC 61000-4-15 „Prüf- und Messverfahren - Flickermeter - Funktionsbeschreibung und Auslegungs-spezifikation“. Startpunkt für die Entwicklung des Störfestigkeitstests für Beleuchtungsgeräte war die Verwendung von Spannungsschwankungen der Stromversorgung mit identischem Typ und Amplitude wie definiert für die Flickerkurve $P_{st} = 1$ mit der 60 W Referenzglühlampe (definiert in IEC 61000-3-3). Auf diese Art wird ein kompletter EMV-Ansatz für Flicker verfolgt (Bild 4) - das Niveau der Spannungsschwankungen wird limitiert durch die Störaussendungstests nach IEC 61000-3-3 während die Flicker-Störfestigkeit von Leuchten gegen $P_{st} = 1$ unter Verwendung eines Licht-Flickermeters getestet wird.

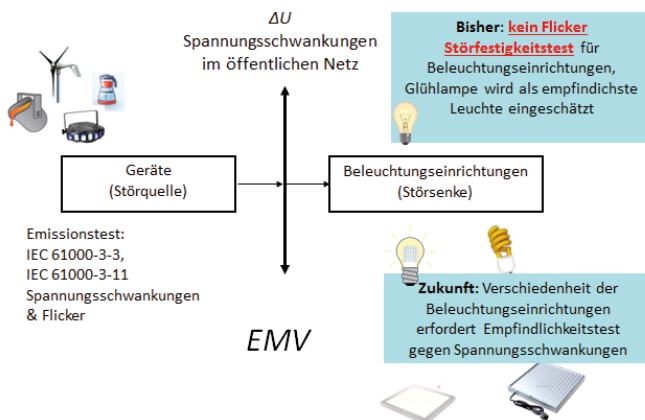


Bild 4 – Kompletter EMV-Ansatz zur Verhinderung von Flickerproblemen

5.2 Das Konzept des Störfestigkeitstest gegen Spannungsschwankungen

Das Konzept des Tests ist im Bild 5 dargestellt, im Vergleich zu dem Konzept des Flickertests nach IEC 61000-3-3 (obere Hälfte von Bild 5).

Während des Störfestigkeitstests wird die Versorgungs­spannung mit rechteckförmigen Spannungsschwankungen entsprechend der Flickerkurve $P_{st} = 1$ moduliert (IEC TR 61547-1, Tabelle 1). Diese Werte wurden aus IEC 61000-4-15 [3], Tabelle 5 übernommen. Ein Licht-Flickermeter wird verwendet, um objektive Werte für die Lichtschwankungen von neuen Lichtquellen zu messen. Diese Werte werden als Licht-Kurzzeit-Flicker P_{st}^{LM} bezeichnet, im Kontrast zum Spannungs-Kurzzeit-Flicker P_{st}^V .

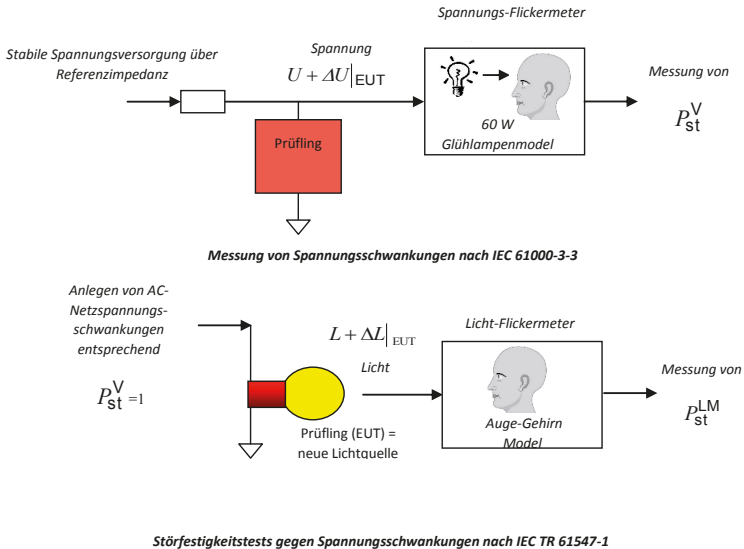


Bild 5 – Vergleich der Messungen von Spannungs-Flicker und Licht-Flicker

Der Störfestigkeitstest gegen Spannungsschwankungen besteht im Wesentlichen aus drei Teilen wie in Bild 6 dargestellt:

- Generierung der Testspannung
- Photometrische Messung vom erzeugten Licht des Prüflings
- Beurteilung des Licht-Flickers (Vergleich mit der Licht-Flickerkurve einer 60 W Glühlampe)

IEC TR 61547-1 gibt eine detaillierte Beschreibung der Anforderungen für jeden der drei Bestandteile.

Um die Messunsicherheit zu begrenzen sind auch Verifizierungsprozeduren für die wesentlichen Bestandteile des Messaufbaus spezifiziert. Wichtige Parameter, die verifiziert werden müssen sind:

- Genauigkeit der Test-Spannungsschwankungen
- Arbeitsweise des Lichtsensors
- Linearität der Übertragungskennlinie des Verstärkers

Weitere Spezifikationen betreffen die Datenerfassung, die Signalverarbeitung (Glättungsfilter und minimale Abtastfrequenz), sowie die Unterdrückung von optischem Rauschen und mechanischen Vibrationen, die zu ungewünschten Licht-Modulationen führen könnten. Damit wird eine ausreichende Genauigkeit der Messung von den teilweise sehr kleinen Lichtänderungen erreicht. Zur Unterstützung enthält Anhang B des TR 61547-1 einige Messunsicherheitsbetrachtungen. Mehr Details und Hintergründe zur Entwicklung der neuen Testmethode enthält [7]. Dieser Beitrag von zwei Mitgliedern des TC34 MT 1 beschreibt die wesentlichen Schwierigkeiten in der Entwicklung des Störfestigkeits-Testsystems. Außerdem werden Details eines Rundversuchs zur Verifizierung der Brauchbarkeit und Wiederholbarkeit der neuen Testmethode dargelegt.

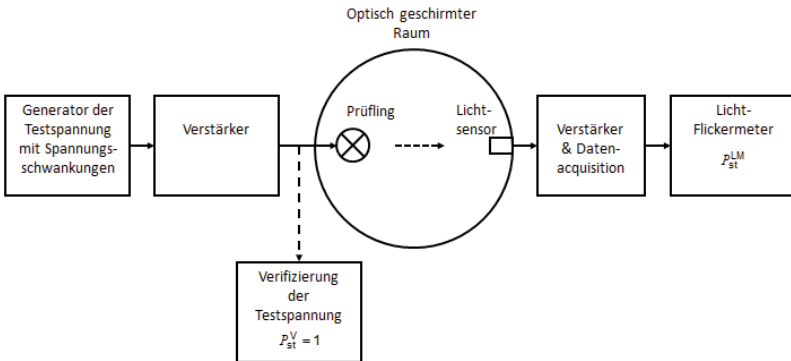


Bild 6 – Blockdiagramm zum Messaufbau für die Flicker-Störfestigkeit

5.3 Testspannung mit Spannungsschwankungen

Die Testspannung $u(t)$ ist mit Rechtecksignalen im Frequenzbereich von etwa 0,05 Hz bis 40 Hz in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung amplitudenmoduliert:

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2\pi f t) \cdot \{1 + m \cdot \text{signum}(\sin(2\pi f_m t))\} \quad (1)$$

- \hat{u} ist die Amplitude der Netzspannung;
- f ist die Netzfrequenz (50 Hz);
- m ist der Modulationsindex;
- $\text{signum}(x)$ ist die Signum-Funktion, $\text{signum}(x) = 1$ für $x > 0$
 $\text{signum}(x) = 0$ für $x = 0$
 $\text{signum}(x) = -1$ für $x < 0$
- f_m ist die Modulationsfrequenz.

Darüber hinaus können die Halbperiodeneffektivwerte U der unmodulierten Versorgungsspannung wie folgt beschrieben werden:

$$U = \hat{u} / \sqrt{2} \quad (2)$$

Nach IEC 61000-4-15 wird der Parameter d angewendet, der die gesamte relative Spannungsänderung beschreibt:

$$d = \Delta u / \hat{u} = \Delta U / U \quad (3)$$

Tabelle 1 zeigt die Liste der empfohlenen Testniveaus und Modulationsfrequenzen, die angewendet werden sollen.

Diese Spannungsschwankungen liefern einen Wert von $P_{st}^V = 1$ entsprechend der Flicker-Kurve. Dem erzeugten Beleuchtungssignal des Prüflings wird durch die Licht-Flickermeter-Messung ein entsprechender Licht-Flickerwert P_{st}^{LM} zugeordnet. Für einen Prüfling, dessen $P_{st}^{LM} = 1$ ist, kann angenommen werden, dass er das gleiche Flicker-Verhalten wie eine 60 W-Glühlampe hat. Wenn der P_{st}^{LM} -Wert eines Prüflings < 1 ist, ist der Prüfling weniger empfindlich als die 60 W-Glühlampe; bei P_{st}^{LM} -Werten > 1 ist das Flicker-Verhalten schlechter als das der 60 W-Glühlampe (siehe Bild 3).

IEC TR 61547-1 Tabelle 1 - Test Spezifikation der Spannungssignale für den Störfestigkeitstest gegen Spannungsschwankungen, Einschaltdauer 50%

| Spannungs- änderungen pro minute (cpm) | Modulations- frequenz (f_m) | Relative Spannungs- schwankung $d = \Delta U / U$ % |
|---|---------------------------------------|---|
| 39 | 0.3250 | 0.894 |
| 110 | 0.9167 | 0.722 |
| 1056 | 8.8 | 0.275 |
| 1620 | 13.5 | 0.407 |
| 4000 | 33.3 | 2.343 |

5.4 Licht-Flickermeter

Das eingeführte Licht-Flickermeter basiert auf [8], welches auch die Spezifikationen für das Spannungs-Flickermeter in IEC 61000-4-15 [3] als Ausgangspunkt benutzt.

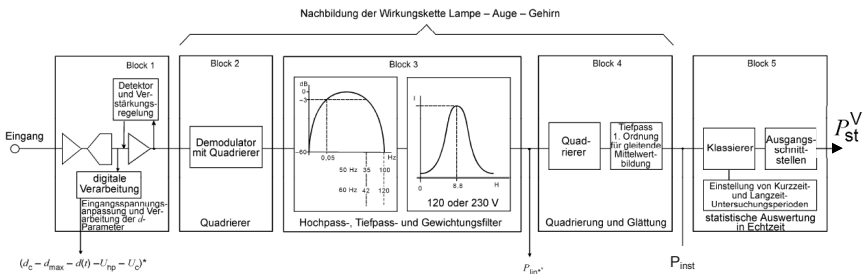


Bild 7 – Funktionsschema des IEC Flickermeters, definiert in IEC 61000-4-15

Das IEC Flickermeter (Bild 7) moduliert die Wirkungskette Lampe-Auge-Gehirn in den Blöcken 2, 3 und 4. Anschließend erfolgt in Block 5 eine statistische Analyse des Flickersignals.

Der Aufbau eines Licht-Flickermeters basiert auf diesem IEC-Flickermeter, definiert in IEC 61000-4-15.

Im Vergleich zum Spannungs-Flickermeter hat es 2 wesentliche Modifikationen:

1. Anstelle eines Spannungseingangs hat es einen Eingang für Signale von einem Lichtsensor. Block 1 wurde an diese Messung angepasst und formt die Signale in normalisierte interne Werte um.
2. Die Teile des IEC Flickermeters in den Blöcken 2 und 3, die auf der Referenz zur 60W Glühbirne beruhen, wurden entfernt.

Anhang A von IEC TR 61547-1 gibt detaillierte Spezifikationen für das Licht-Flickermeter, inklusive analytischer Kurvenformen zur Funktionsverifizierung. Die Struktur eines Licht-Flickermeters ist in Bild 8 dargestellt.

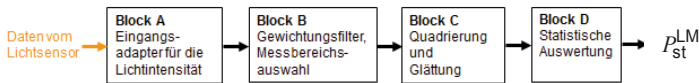


Bild 8 – Struktur eines Licht-Flickermeters

6 Zusammenfassung

Mit Verschwinden der Glühlampentechnologie müssen neue Wege beschritten werden, um die EMV in Bezug auf Licht-Flicker aufrechtzuerhalten.

Neue Lampentechnologien sollten keine höhere Empfindlichkeit gegen Spannungsschwankungen haben, als die alte Glühlampentechnologie. Dazu wurde in TC 34 in Rekordzeit eine neue objektive Testmethode entwickelt.

Alle anderen elektrischen Geräte können weiter nach den bestehenden Anforderungen in IEC 61000-3-3 und IEC 61000-3-11 entwickelt werden.

7 Literaturangaben

- [1] IEC 61000-3-3, Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 16 A je Leiter, ohne Sonderanschlussbedingung
- [2] IEC 61000-3-11, Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen – Geräte und Einrichtungen mit einem Bemessungsstrom ≤ 75 A, die einer Sonderanschlussbedingung unterliegen.
- [3] IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications.
- [4] J.J. Gutierrez, Analysis of the sensitivity to flicker of the modern lamps, Report to IEC SC77A/WG2 London September 2011.
- [5] F. Deter, "Flicker and new lamps", Presentation to a Forum IEC TC34/SC77A, Brussels, November 2012.
- [6] IEC TR 61547-1 Equipment for general lighting purposes – EMC immunity - Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method.
- [7] J. Julio Gutierrez, Pierre Beeckman, Izaskun Azcarate, A protocol to test the sensitivity of lighting equipment to voltage fluctuations, CIRED 2015 Conference, Lyon, June 2015.
- [8] J. Drápela, J. Slezingr, 2010, "A light-flickermeter – Part 1: Design", Proceedings 11th Electric Power Engineering EPE, pp.453.