

Измерительные приборы должны быть разработаны с представлением человеческих факторов, включающих в себя восприятие и терпимость мерцания, так что можно оценить вероятность жалоб потребителей.

Фликер – это явление, которое очень трудно охарактеризовать из-за человеческих факторов. Однако, в целях изучения эффектов фликера, необходимо было разработать единицы и величины фликера, которые позволят их измерить. При возникновении колебаний напряжения в энергосистеме, проблемой, как правило, является не столько измерение размера самих колебаний, как определение влияния различных типов ламп и оценивание вероятности того, что они вызовут жалобы из-за мерцания света. Для данного амплитуды мерцания, мнения многих наблюдателей отличаются друг от друга, и предел (или допустимый) уровень в системе должен быть один, чтобы совсем незначительное количество считали его недопустимым. Поэтому произвести калибровку какого-либо конкретного измерительного прибора в пределах жалоб потребителей, возможно, будет трудно. Фликерметр должен быть разработан для представления физиологических и психологических процессов, включающих в себя восприятие и терпимость мерцания [1].

Фликерметры

Измерительные приборы разработанные ранее были предназначены для обнаружения колебаний напряжения и их обработки с целью обозначения впечатления визуального наблюдателя. Таким образом, устройства считаются ограниченными визуальной повторяемой чувствительностью и влиянием тепловой постоянной времени ламп накаливания. Кроме того, в устройства были вмонтировано слияние изображений, которое было выполнено по системе глаз/мозг, когда освещение быстро меняется (примерно на 30 Гц). Некоторые устройства были разработаны (в основном в Англии, Франции, Германии и Японии) для обнаружения колебаний напряжения в диапазоне 0,5-30 Гц и оценивания средневзвешенной таких колебаний, которые обеспечивает оценку дозы фликера, которая будет раздражать. Понятие величина фликера, как правило, определяется как интегрированное мерцание за период времени, и оно использует процентиль вероятности того, что предел отклонения напряжения был превышен [2].

Максимальная чувствительность представлена между частотами диапазоном от 6 до 10 Гц, а круг интересов от 1 до 25 Гц. Изолированные и частые изменения напряжения также раздражают, при этом мозг вспоминает предыдущие возмущения и сразу связывает их с новыми. В этом случае, нужно рассмотреть изменение величины и интервал времени между двумя

последовательными возмущениями. Из-за различных взвешивающих напряжений компонента флуктуаций, а также различных толкований, используемых для определения дозы фликера, предварительное использование фликерметров не дает достоверных показаний на общих основаниях.

Международный союз по применению электричества (СПЭ), который ранее был известен как Международный союз по электронагреву, принял стандартную методологическую оценку, которая основана на ранее разработанных фликерметрах, предложенных в 1979 году, принимая во внимание следующие факты:

- спецификация строения и функциональных характеристик измерительного прибора (фликерметра);
- спецификация статистической оценки явления фликера;
- оценка краткосрочной и долгосрочной дозы фликера.

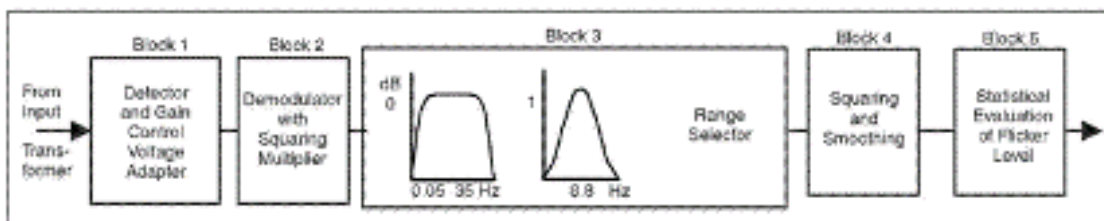


Рисунок 1 – Функциональная блок-схема фликерметра СПЭ

Насколько известно авторам, не существует американского стандарта, связанного с фликерметром. Международная электротехническая комиссия (МЭК) стандартизировала фликерметр как прибор, включающий в себя взвешивающими кривыми, которые представляют собой реакцию человеческого глаза на изменение света, производящиеся при 60 Вт, 230 В, 50 Гц, двойной спиральной лампы накаливания. На выходе прибор показывает такие величины, как единица мерцания напряжения, где единица уровня, которая должна вызывать заметно раздражающее мерцание света, с пороговым восприятием для 50% человеческого населения. Фликер определяется в терминах лампы накаливания из-за их общего использования и чувствительности к изменению напряжения. Мерцание наблюдается также с люминесцентными лампами.

Европейскими стандартами измерения фликера являются стандарт МЭК 868 (изначально представлен в 1986), стандарт МЭК 868 Поправка 1 (1990), и стандарт МЭК 61000-4-15 (1997), которые постоянно пересматриваются, с тем чтобы включить необходимые изменения по применению ламп до 120 В, 60 Гц, например [3], [4]. Прибор состоит из анализатора со специализированной амплитудной модуляцией (АМ), в котором несущая частота является основной частотой (50 или 60 Гц), и имеющий регистрирующую полосовую фильтрацию для подражания характерных реакций лампа-глазо-мозговой системы [5].

Стандарт МЭК 868 был разработан для аналогового фликерметра, спроектированного в 70-х годах. За последние 15 лет, аналоговые фликерметры были постепенно заменены электронными версиями, которые подражают каждой аналоговой функции. Основными составляющими фликерметра являются: вход, лампа-глазо-мозговой ответ, и выходная обработка.

Реализация фликерметра

На рисунке 1 показана блок-схема для фликерметра, описанного в стандартах МЭК. Основные характеристики каждого из пяти блоков можно описать следующим образом.

Существует входной трансформатор до блока 1; его функция заключается в изоляции и адаптации входной цепи прибора до уровня измеряемого сигнала, что позволяет достичь номинального входного напряжения от 55 до 415 В при частоте сети.

Входное напряжение адаптера

Основная функция переходника входного напряжения (блок 1) заключается в обеспечении нормированного значения напряжения на входе демодулятора (блок 2). Автоматически контролируется усиление от 10 до 90% переходной характеристики, за 1 минуту обеспечивается необходимая функциональность. Кроме того, он обладает двумя фильтрами для устранения компоненты постоянного тока и двойной частоты пульсации. Эта схема имитирует известные характеристики человеческого восприятия умеренного уровня, и при постоянной стимуляции чувства, постепенно становятся незаметными. Блок 1 включает в себя калибровку генератора.

Демодулятор

Блок 2 указывает на использование квадратуры мультипликатора, как демодулятора. Цель этого блока состоит в том, чтобы при восстановлении модулирующего сигнала одновременно подавлять сигнал основной несущей частоты, с помощью фильтрации, так как эти сигналы только желаемый результат.

Взвешивающие фильтры

Блок 3 включает в себя три фильтра, соединенных последовательно одной цепью. Первый фильтр первого порядка высокочастотный фильтр с частотой среза установлен на 0,05 Гц. Второй шестого порядка Баттерворта фильтр низких частот с угловой частотой 35 Гц. Эти фильтры удаляют постоянные составляющие и 100 Гц удвоенную несущую, связанную с ним сбоку, от выходного сигнала блока 2. Третий фильтр дает полосовой ответ с

центром в 8,8 Гц, который обеспечивает очень точную взвешивающую функцию в полосе интересующих частот (0,05 до 35 Гц), имитируя реакцию лампа-глазо-мозговой системы для обычного наблюдателя.

Лампа-глазо-мозговая характеристика получена из математического вывода:

- реакция лампы при изменении напряжения питания;
- способность восприятия человеческого глаза;
- склонность запоминания человеческого мозга.

Фильтры точно определены с помощью требующейся функции перевода в комплексную область частот. Диапазон функции, который требуется для приборов, использующих определенные типы статистических классификаторов, находящихся внутри блока 3. Полномасштабный диапазон, соответствующий изменениям напряжения от 0,5 до 20%, определяется по требованиям минимального разрешения.

Квадратный множитель и фильтр первого порядка со скользящей средней

Блок 4 реализует остальную лампа-глазо-мозговую модель. Возведение в квадрат оператора имитирует нелинейные ответные глаз/мозг характеристики, в то время как фильтр первого порядка имитирует эффекты восприятия и хранения в мозге с постоянной времени 300 мс. Когда прибор усиления правильно настроен, модуляция уровней, соответствующая среднему человеческому порогу ощущения фликера, будет генерировать значения 1 на выходе из этого блока. Выход блока 4 называется мгновенным ощущением фликера, обозначается как PF_5 .

Статистический классификатор

Блок 5 эмулирует человеческую раздражительность из-за стимуляции фликером, выборка АЦП следует из статистического классификатора. Этот классификатор переводит выход предыдущего блока в краткосрочный индекс дозы фликера (P_{ST}) и долгосрочный индекс дозы фликера (P_{LT}). P_{ST} является статистической количественной оценкой мгновенного спонтанного ощущения фликера и является производной от времени на уровне анализа PF_5 . Она состоит из взвешенной суммы в процентах от совокупного распределения вероятностей ощущения фликера, с целью предоставления объективной информации о степени тяжести фликера, независимо от типа напряжения излучения флукутации, закона изменения во времени, и эволюции.

Хотя многое еще предстоит сделать для того, чтобы правильно моделировать фликер чувствительности различных ламп; вероятно, что ИИЭР утвердит МЭК 868 спецификация фликерметра. В феврале 1998 года, ИИЭР P1453 специальная группа по вопросам фликера единогласно проголосовала

за объединение и повышение фликерметра МЭК, измерительного протокола для рекомендуемой практики ИИЭР [6], [7].

Инструкции или ограничения фликера

Подход ИИЭР

Кривые фликера были объединены и включены в стандарт ИИЭР 141-1993 и стандарт ИИЭР 519-1992. Тема рассматривается кратко в ИИЭР стандартах. В стандарте ИИЭР 141, пограничное раздражение и пограничная видимость фликера даны, они были взяты из справочника, опубликованного в 1960 году. С другой стороны, стандарт ИИЭР 519 представляет аналогичную информацию, взятую из различных источников, и предлагается только в качестве руководства для планирования. Кривые из двух стандартов точно не эквивалентны, общая тенденция аналогична, но в стандарте ИИЭР 519 границы более требовательны, чем в стандарте ИИЭР 141, в флуктуации напряжения для максимальной чувствительности частоты (примерно в 8,8 Гц).

Кривые фликера ИИЭР служили промышленности в течение многих лет, но состояние энергосистем становится более сложным, чем ожидалось, из-за наличия новых типов ламп, а также новых явлений, таких как множественные дозы частоты, модуляция фликера, промежуточные гармоники, и субгармоники. Это означает, что ИИЭР методология кривых фликера срочно нуждается в обновлении, принимая во внимание тот факт, что теперь доступны новые мощные методы. Совместные усилия между МЭК, СПЭ, научно-исследовательский институт электроэнергетики (НИИЭ) и ИИЭР позволяют изменять МЭК для различных технологий освещения и напряжения в системе. Эти усилия способствовали разработке одного универсального стандарта для напряжения фликера [8].

Это должно быть указано, как МЭК и ЕН стандарты, имеющие широкое применение и распространение в Европе, а также принимаются большинством европейских стран, а также во многих странах за пределами Европы. Значения P_{ST} и P_{LT} непосредственно доступны из фликерметра МЭК, и тогда можно определить пределы мерцания на основе этих значений для оборудования, которые уже находятся в эксплуатации. Во многих случаях, однако, необходимо оценить распространение мерцания от потенциального клиента до оказания услуги.

Подход МЭК

Из-за широкого спектра оборудования, рабочих напряжений и организации служб, МЭК создала три различных категорий ограничений для:

– низковольтного оборудование с номинальным током до 16 А (стандарт МЭК 61000-3-3);

– низковольтного оборудование с номинальным током более 16 А (стандарт МЭК 61000-3-5);

– оборудования среднего и высокого напряжения (стандарт МЭК 61000-3-7).

Ограничения приведены для обоих статистических параметров (P_{ST} и P_{LT}), а также максимального значения отклонения напряжения. Следующие объяснения соответствующих стандартов МЭК предназначены, чтобы показать, как использовать P_{ST} и P_{LT} концепции в сравнении с методикой мерцания кривых.

Стандарт МЭК 61000-3-3. Этот стандарт предусматривает ограничения и процедуры оценки для низковольтной аппаратуры с током менее 16 А. Индивидуальное ограничение выбросов ($P_{ST} = 1$, $P_{LT} = 0,65$) должно быть измерено на источнике питания, через эталонные значения сопротивления. Определенные значения сопротивления соответствуют 90% системы сопротивлений от однофазных европейских слаботочных систем. Кроме того, это оборудование не должно приводить к максимальной флуктуации напряжения более чем на 4% [5].

Различают следующие методы оценки P_{ST} для оценки соблюдения предельных значений:

– прямое измерение с помощью фликерметра, которое является наиболее подходящим для нагрузки, уже подключенной к сети;

– компьютерное моделирование, если значение напряжения изменения сигнала $U(t)$ уже известно;

– Определение "форм-факторов" для аналитической оценки P_{ST} , если сигнал $U(t)$ не известен, но потенциал нагрузки, как известно, производит среднеквадратичное действующее значение напряжения изменений определенного типа.

Стандарт МЭК 61000-3-5. Этот стандарт предусматривает ограничения и процедуры оценки для низковольтной аппаратуры с током более 16 А. Пределы приведены в стандарте МЭК 61000-3-3. Низковольтное оборудование с номинальным током более 75 А должно быть оценено на основе фактического сопротивления источника питания в точке подключения. P_{ST} может быть оценена на основе относительного размера нагрузки и класса силового трансформатора. Следует отметить, что стандарт МЭК 61000-3-3 и МЭК 61000-3-5 являются стандартами по оборудованию, по которым производители низковольтного оборудования могут разрабатывать свои продукты [8].

Стандарт МЭК 61000-3-7. Этот стандарт дает ограничения и процедуры оценки для оборудования, подключенного к среднему напряжению (1 до 35 кВ) и высокого напряжения (35 до 230 кВ) систем питания. Конкретные предельные значения, которые должны соблюдаться не указаны, признавая, что предельные значения для P_{ST} и P_{LT} будут варьироваться между коммунальными услугами в зависимости от особенностей нагрузки и характеристик питающей сети.

Пострадавшие устройства

Основной эффект от колебаний напряжения приходится на освещение (именно на электрические лампы), в результате фликера, который был причиной инженерных беспокойств начала электроэнергетики. Проблема мерцания света в настоящее время является очень острой проблемой в связи с нынешним увеличением искажения напряжения среднего и низкого напряжения системы. Рядом с номинальным напряжением, процент изменения светового потока от ламп накаливания в среднем 3,8 процентов изменяет напряжение, заставляя его меняться между 4,1 и 3,4, для ламп от 15 до 1500 Вт. Освещение относительной флуктуации (R_I), измеряется фотометром, адаптированным к реакции человеческого глаза. Связь между процентом изменения блеска и процентом изменения напряжения обычно называется коэффициентом усиления (или усиление характеристики лампы).

Соответствующее значение для люминесцентных ламп составляет порядка единицы. Следовательно, лампы накаливания, по сути своей более чувствительны к колебаниям напряжения, чем люминесцентные лампы. Процент изменения для ртутных ламп высокого давления и натриевых ламп колеблется от 2,8 до 3,3, а это 0,5 для низкого давления, натриевые лампы [1].

Лампы накаливания

Лампа накаливания с синусоидальным напряжением. Поведение теплоотдачи лампы накаливания может быть исследовано, с помощью аналоговой схемы, показанной на рисунке 2.

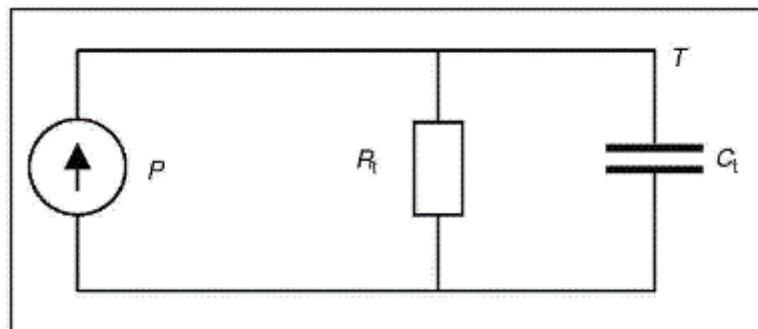


Рисунок 2 – Тепловая схема замещения лампы накаливания

Накаливание представляет собой тепловое сопротивление R_t параллельно с тепловой мощностью C_t . Повышение температуры накаливания T выше окружающей и представлена как напряжения сопротивления R_t . Источник тока (P) снабжает резистивные и емкостные нагрузки мощностью, рассеиваемой накаливанием [9].

Световой поток создается лампами с нелинейной функцией, с нитью накала температуры, физическими характеристиками, и геометрией.

Типичные 120 В лампы накаливания, мощностью от 45 до 200 Вт, имеют тепловую постоянную времени между 10 и 200 мс [1], [9].

Лампа накаливания с несинусоидальным напряжением. Мгновенная сила света имеет достаточно сложное выражение, которое дает громоздкое уравнение для температуры нити накала. Только интергармоники меньше, чем 1,5 для 60 Гц и 1,67 для 50 Гц виден. Периодические мерцания производятся только тогда, когда напряжение сигнала содержит нецелые гармоники с частотами в диапазоне от 25 до 90 Гц [9].

Напряжение с прямоугольной модуляцией. Это наиболее распространенная форма напряжения мерцания. Это характерно в ситуациях, когда большая нагрузка периодически включается и выключается. Этот тип, скорее всего, для производства светлых жалоб мерцания.

Напряжение с синусоидальной модуляцией. Синусоидальная модуляция имеет меньше причин относительной флуктуации освещенности и более гладкой, чем изменения модуляции прямоугольных. Эффект тепловой постоянной времени лампы менее заметен и уменьшает освещенность флуктуации быстрее, при увеличении частоты, чем для модуляции прямоугольных.

Использование диммера для лампы накаливания. Широкое применение получили лампы диммеры, как полагают, это играет роль в увеличении числа жалоб при мерцании. Использование диммеров в домах существенно увеличивает восприимчивость к изменению напряжения, из-за проводимости изменения угла, принцип электронного управления. Типичный электронный диммер будет почти в два раза изменять световой поток по сравнению с аналогичными лампами без диммера. Фактор усиления мерцания зависит от настройки затухания и частоты возмущения, начиная от почти 1 для 25 Гц (невидимый возмущений) для максимум 8 при очень низких частотах. Коэффициент усиления достигает значения 6 для 75% затухания и максимальная частота чувствительности (8,8 Гц) [8]. На поведение диммера весьма влияет наличие интергармоник.

Газо-разрядные лампы

Флуоресцентные и другие формы разряда освещения гораздо менее чувствительны к колебаниям напряжения, чем лампы накаливания, с коэффициентами усиления около 1,2 против 2,7, что практически не влияет на колебания частоты [10]. Газоразрядные лампы мгновенно реагируют на изменения напряжения (постоянная времени составляет менее 5 мс) [11]. Последние тесты сообщили о проблемах таких, как интергармоники могут к мерцанию люминесцентных ламп в местах, удаленных от источника нарушения [12].

Большинство существующих флуктуаций напряжения (или мерцания света) стандартны и основаны на наблюдениях раздражения, вызванных лампами накаливания. Физический механизм преобразования энергии

электрического между накаливания и люминесцентные лампы резко отличается.

Выводы

Из анализа можно сделать следующие выводы:

- 1) пределы колебания напряжения не могут быть просто связаны с мерцанием, вызывающим раздражение;
- 2) возможностью фликерметра является легкость подражания или осуществление, с помощью ПК, быстрого изучения проблемы на ранних стадиях;
- 3) применение кривых мерцания не дает четкого и полного представления оценки проблемы фликера;
- 4) технические характеристики фликерметра не достигли окончательной стадии из-за новых типов ламп и осветительных требований;
- 5) возможные проблемы мерцания должны быть полностью проанализированы с точки зрения системы конструкции;
- 6) определение ограничений фликера требует тщательного анализа для того, чтобы правильно эксплуатировать систему.

Список литературы

1. P.G. Kendall, "Light flicker in relation to power-system voltage fluctuation," Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 113, no. 3, pp. 471-479, 1966.
2. J.D. Lavers and P.P. Biringer, "Real-time measurement of electric arc-furnace disturbances and parameter variations," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 22, no. 4, pp. 568-577, 1986.
3. IEC Flickermeter Functional and Design Specifications, IEC Standard 868, 1986.
4. IEC Electromagnetic Compatibility—Part 4: Testing and Measurement Techniques, sec. 15, "Flickermeter: Functional and design specifications," IEC Standard 61000-4-15, 1997.
5. J. McKim, "The UIE flickermeter demystified," Compliance Engineering, vol. 16, no. 3, pp. 60-71, 1999.
6. IEEE Flicker Task Force, P1453 draft. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/1453>.
7. S. Caldara, S. Nuccio, and C. Spataro, "Digital techniques for flicker measurement: Algorithms and implementations analysis," in Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Conf., 1999, pp. 656-661.
8. M. Halpin, L. Conrad, and R. Burch, Tutorial on Voltage Fluctuations and Lamp Flicker in Electric Power Systems, IEEE Power Engineering Society publication 01TP151, 2001.
9. L. Peretto and A.E. Emanuel, "A theoretical study of the incandescent filament lamp performance under voltage flicker," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, no. 1, pp. 279-288, 1997.

10. M.K. Walker, "Electric utility flicker limitations," IEEE Trans. Ind. Applic., vol. 15, no. 6, pp. 644-655, 1979.
11. A.E. Emanuel and L. Peretto, "The response of fluorescent lamp with magnetic ballast to voltage distortion," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, no. 1, pp. 289-295, 1997.
12. B. Bhargava, "Arc furnace flicker measurements and control," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8