

УДК 621.317.2

doi:10.20998/2413-4295.2021.01.15

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ УИМ – 90 З ЕЛЕКТРОННИМ БЛОКОМ ПІДЙОМУ НАПРУГИ

**І. М. БОГАТИРЬОВ¹, О. Г. ПОНУЖДАЄВА^{2*}, Д. Г. КОЛУШКО³, С. С. РУДЕНКО^{2*},
О. Є. ІСТОМІН⁴**

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, УКРАЇНА:

¹ кафедра електричних станцій

² науково-дослідний та проєктно - конструкторський інститут "Молнія"

³ кафедра автоматизованих електромеханічних систем

⁴ кафедра інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова

*e-mail: nio5_molnija@ukr.net

АНОТАЦІЯ Для проведення випробувань відповідно до методики визначення пробивної напруги рідких діелектриків використовуються високовольтні установки, основними частинами яких є високовольтний трансформатор, блок підйому напруги, випробувальна комірка з електродами та ін. Описано установку для випробування трансформаторної оливи УИМ – 90 з електромеханічним блоком підйому напруги. У зв'язку з жорсткими вимогами нормативних документів до форми синусоїди напруги на електродах комірки, проведено натурні випробування УИМ – 90, які дозволяють оцінити вплив якості мережевої напруги на спотворення випробувальної напруги та точність вимірювань. Виявлено, що при використанні електромеханічного блоку підйому напруги перепади напруги мережі спотворюють форму синусоїди пропорційно коефіцієнту трансформації підвищувального трансформатора. Проведеним аналізом конструкції цього блоку виявлено, що використання ЛАТРа та механічного регулятора напруги може викликати додаткові спотворення форми синусоїди. Прийнято рішення про розробку електронного блоку підйому напруги, який дозволить виключити вплив мережі на результати випробувань. Створено алгоритм формування сигналу від мікроконтролера, що генерує лінійно наростаючу напругу, до підсилювача, який являє собою широтно-імпульсний модулятор, далі, до каскаду підвищувальних трансформаторів. Запропоновано використовувати додатковий трансформатор для узгодження рівнів вихідної напруги підсилювача та вхідної напруги основного підвищувального трансформатора. Наведено функціональну схему УИМ – 90 з електронним блоком підйому напруги та каскадним включенням підвищувальних трансформаторів. Наведені осцилограма напруги та її спектрограма на первинній обмотці основного трансформатора, отримані в результаті реалізації розробленого електронного блоку підйому напруги, демонструють незалежність форми синусоїди напруги від якості мережі. Проаналізувавши технічні характеристики модернізованого УИМ – 90 та світових аналогів, можна зробити висновки про його конкурентоспроможність на міжнародному рівні.

Ключові слова: рідкий діелектрик; напруга пробою; підвищувальний трансформатор; широтно-імпульсний модулятор; напруга мережі; випробувальна установка

DIELECTRIC OIL'S TEST MACHINE WISH VOLTAGE RISE ELECTRONIC MODULE

I. BOGATIROV¹, H. PONUZHDAYEVA², D. KOLIUSHKO³, S. RUDENKO², A. ISTOMIN⁴

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE :

¹ Department of Electric Power Stations

² Research and Design Institute "Molniya"

³ Department of Automated electromechanics systems

⁴ Department of Information Technologies and Systems of Wheeled and Tracked Vehicles named after A.A. Morozov

ABSTRACT For test operations according to the liquid dielectric breakdown voltage measurement method we use high voltage machines that consist of high-voltage step-up transformer, voltage rise block, test cell with electrodes and so on. Described dielectric oil's test machine UIM – 90 with electromechanical voltage rise block. Cause of hard requirements in specification documents about voltage sine wave form on cell's electrodes, we performed field tests for UIM – 90 that help to evaluate the mains voltage impact on the test voltage distortion and measurement accuracy. Was discovered that during usage of electromechanical voltage rise block voltage steps disrupt sine wave's form proportionally to step-up transformer's transformation coefficient. Performed analysis of this block's construction and established that usage of LATP and mechanical voltage controller could lead to additional sine's wave disruption. Decided to develop electronic voltage rise block which will allow to get rid of mains influence on test data. Created the algorithm of wave shaping from microcontroller, which generates voltage ramp to the amplifier representing pulse width modulator, then to the step-up transformers cascade. Proposed to use additional transformer for level matching of amplifier's output voltage and main high voltage transformer's input voltage. Presented flow sheet for UIM – 90 with electronic voltage step-up block and cascading start of step-up transformers. Provided voltage oscillograph trace and it spectrograph on the main transformer's primary side, received due to the implementation of developed electronic voltage step-up block, prove that voltage sine wave form doesn't rely on mains quality. After upgraded UIM – 90 and it world analogues technical parameters analysis we could make a conclusion about it competitive capability on global level.

Keywords: liquid dielectric; breakdown voltage; step-up transformer; pulse width modulator; mains voltage; test machine

Постановка проблеми

Визначення електричної міцності рідких діелектриків необхідно для контролю якості

ізоляційних матеріалів, що застосовуються в процесі експлуатації високовольтного обладнання, що наповнене оливою (наприклад, силових та

вимірювальних трансформаторів, комутаційних апаратів, перетворювачів). Зниження або втрата діелектричних властивостей може привести до виходу з ладу дороговартісного обладнання, а також до призупинення електропостачання підприємств та населення. Проведення електричного, хімічного та хроматографічного аналізу оливи дає інформацію про стан обладнання, наповненого нею [1-3].

Основним показником електричної якості оливи є напруга пробою. Методика визначення пробивної напруги $U_{пр.}$ за допомогою спеціальних випробувальних високовольтних установок (ВВУ) для рідких електроізоляційних матеріалів як натуральних, так і синтетичних, регламентована в [4,5]. Зазначені ВВУ мають забезпечувати точність вимірювань, надійність та тривалий термін служби, зручність та безпеку експлуатації. Як правило, такі ВВУ працюють на промисловій частоті та містять: високовольтний підвищувальний трансформатор, регулятор напруги, пристрій для перемішування рідких діелектриків, систему управління, випробувальна комірка з електродами. В теперішній час як вітчизняними, так і закордонними фірмами випускаються різні ВВУ для визначення $U_{пр.}$, наприклад: OTS 80, OTS 100 («Megger», Велика Британія) [6], DTA 100 C («BAUR», Австрія) [7], АИМ – 90А («Медрентех», Росія), OLT – 90А/М (ООО «Харківенергоприлад», Україна) та ін.

Також користується попитом в Україні, країнах далекого та близького зарубіжжя установка для випробування оливи УИМ – 90, розроблена в 2001 р. НДПКІ "Молнія" НТУ "ХПІ", м. Харків, Україна, яка продовжує безперервно удосконалюватися [8].

Сучасний прилад, представлений на рис. 1, має електронне управління, повністю автоматичний режим роботи (від витримки часу після заповнення комірки до обробки результатів випробувань), енергонезалежну пам'ять, де зберігаються всі налаштування попередніх випробувань, оперативну пам'ять для збереження результатів останнього випробування, безшумний автоматизований пристрій перемішування зразка рідкого діелектрика в випробувальній комірці. Також установка має можливість приєднання до ПК або смартфона для подальшої обробки результатів випробувань за допомогою блока безпроводного зв'язку Bluetooth [9]. Вибір такого інтерфейсу дозволяє підключити 8 установок одночасно до одного ПК та керувати ними за допомогою розробленого програмного комплексу Virtual UIM [10].

Однією з основних частин ВВУ для визначення $U_{пр.}$ є блок підйому напруги (БПН), що живить високовольтний підвищувальний трансформатор.

В УИМ – 90 в якості джерела живлення високовольтного трансформатора використовується автотрансформатор АОСН – 2 – 220 (ЛАТР) з системою електромеханічного регулювання, який забезпечує підйом напруги на електродах випробувальної комірки зі швидкістю 2 кВ/с. Вхід



Рис. 1 – Зовнішній вигляд установки УИМ – 90

вказаного джерела підключений до промислової мережі, синусоїдальність якої не завжди відповідає нормованим параметрам. Документ [5] регламентує, що напруга на електродах ВВУ має змінюватись по синусоїдальному закону з коефіцієнтом амплітуди $1,41 \pm 0,07$, проте, для виконання цієї вимоги необхідно, щоб напруга мережі відповідала нормованим характеристикам. Застосування ЛАТРа з регулятором напруги має істотний недолік: наявність похибки при визначенні $U_{пр.}$ рідких діелектриків, викликаній відхиленням напруги, що подається на електроди випробувальної комірки, від синусоїдальної форми.

Мета роботи

Метою роботи є створення БПН, що дозволить виключити вплив мережі на результати випробувань та підвищити точність визначення $U_{пр.}$ рідкого діелектрика.

Матеріали дослідження

При розробці зазначеного блоку необхідно було обрати спосіб підйому напруги для отримання синусоїди з низьким рівнем гармонік та розробити схему вимірювання $U_{пр.}$ У процесі проведення експериментів було виявлено, що різкі перепади напруги мережі змінного струму передаються на вихід високовольтного трансформатора пропорційно коефіцієнту трансформації та спотворюють результати визначення $U_{пр.}$ діелектрика. Дискретність підвищення напруги при використанні ЛАТРа також впливає на "чистоту" синусоїди. На рис. 2, а наведена осцилограма напруги на первинній обмотці підвищувального високовольтного трансформатора. Представлена на рис. 2, б спектрограма демонструє присутність 3-ої, 5-ої, 7-ої, 9-ої та інших гармонік, коефіцієнт нелінійних спотворень перевищує 3 %. Якщо врахувати вплив комутаційних завад мережі, що проникають крізь ЛАТР на первинну обмотку підвищувального високовольтного трансформатора, то за час випробування однієї проби оливи в різні моменти часу коефіцієнт нелінійних спотворень може перевищувати 10%, що значно вплине на результат випробування.

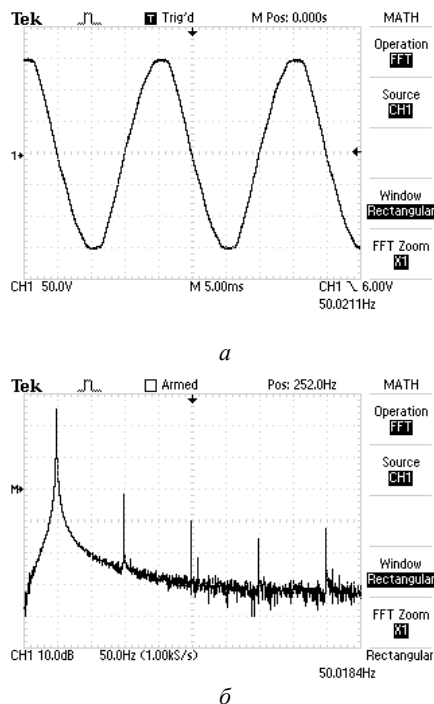


Рис. 2 – Осцилограма напруги на виводах первинної обмотки високовольтного підвищувального трансформатора установки УИМ – 90 з електромеханічним БПН (а) та її спектрограма (б)

Крім того, в процесі використання електромеханічного регулятора напруги спостерігається іскріння між рухливим графітовим контактом та обмоткою ЛАТРа, що також впливає на якість синусоїди та є джерелом завад. До того ж механічні елементи регулятора напруги при використанні ЛАТРа ненадійні. Тому було прийнято рішення про розробку електронного БПН, що формує синусоїдальну напругу в діапазоні від 0 до 250 В.

Основним елементом цього блоку є мікроконтролер, у функції якого входить генерація лінійно наростаючої синусоїдальної напруги, фіксація моменту пробую та розрахунок діючого значення $U_{пр}$ досліджуваного діелектрика. Крім цього, мікроконтролер забезпечує (в автоматичному режимі) витримку всіх часових нормативів, що стосуються перемішування та відстоювання досліджуваної рідини. Сигнал від мікроконтролера подається на вхід підсилювача, що являє собою широтно-імпульсний модулятор (ШИМ) з мостовим вихідним каскадом, працюючим на частоті 400...700 кГц. Використання підсилювача класу D дозволяє виключити вплив коливань мережевої напруги, що подається на каскад підвищувальних трансформаторів, так як її форма та амплітуда залежать лише від сигналу, що подається на вхід підсилювача від мікроконтролера. Для заглушення несучої частоти ШІМ на виході підсилювача встановлений фільтр низьких частот другого порядку. Використання фільтра виключає проникнення високочастотних імпульсних коливань в ланцюг формування випробувальної напруги, що

прикладається до електродів через ємнісні зв'язки обмоток трансформаторів.

Функціональна схема УИМ – 90 з розробленим БПН, що зображена на рис. 3, складається з: мікроконтролера 1, джерела живлення 2, підсилювача низької частоти 3 класу D, що містить фільтр 4, двокаскадного підвищувального трансформатора 5, 6. Також до складу установки входить, пристрій 7 для перемішування рідких діелектриків, випробувальна комірка 8 з електродами, датчик реєстрації пробую 9, блок управління 10, реєстратор результатів вимірювання 12 з дисплеєм 11.

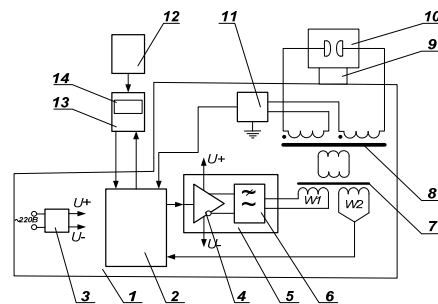


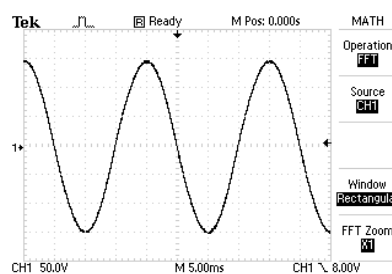
Рис. 3 – Функціональна схема УИМ – 90 з електронним БПН

Особливістю схеми є те, що вихідний мостовий каскад підсилювача 3 живиться від стабілізованого по амплітуді джерела живлення 2, що виключає вплив коливань і завад мережевої напруги на форму та амплітуду напруги, яка прикладається до електродів комірки.

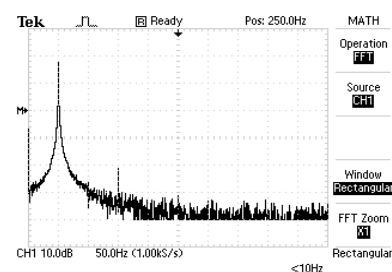
В цій схемі використане каскадне включення підвищувальних трансформаторів 5 та 6. Додатковий трансформатор 5 призначений для узгодження рівнів вхідної напруги основного трансформатора 6 (200 В) та вихідної напруги підсилювача 3 (24 В), що підключений до первинної обмотки W1. Окрім того на трансформаторі 5 розміщена вимірювальна обмотка W2, яка необхідна для вимірювання та обчислення поточного діючого значення напруги на електродах комірки 8. Основний трансформатор 6 забезпечує підйом випробувальної напруги до 90 кВ (по запити замовника до 100 кВ) [11]. Використання каскадного включення підвищувальних трансформаторів дозволяє значно зменшити (в 1,5–2 рази) коефіцієнт трансформації $K_{тр}$ основного підвищувального трансформатора 6 (зазвичай, в таких пристроях $K_{тр} > 400$), що призведе до покращання його енергетичних характеристик. Датчик реєстрації пробую 9 призначений для генерації імпульсного сигналу в момент пробую рідини та підключений до протилежних відносно електродних кінців обмоток підвищувального трансформатора 6. Датчик має гальванічну розв'язку між високовольтним трансформатором 6 та іншими елементами схеми установки. Блок управління 10 дозволяє оператору задавати (змінювати) режими та керувати роботою установки, а реєстратор 12 фіксує результати

вимірювань. Результати випробування відображаються на дисплеї 11.

В результаті реалізації розробленого електронного БПН на первинній обмотці високовольтного трансформатора отримана синусоїдальна напруга, форма якої не залежить від якості мережі (див. рис. 4).



а



б

Рис. 4 – Осцилограма напруги на виводах первинної обмотки високовольтного підвищувального трансформатора установки УИМ – 90 з електронним БПН (а) та її спектрограма (б)

Представлені на осцилограмах (див. рис. 2 та рис. 4) рівні напруги відповідають 48...50 кВ діючого значення напруги на електродах випробувальної

комірки. На рис. 4, а показана осцилограма напруги на первинній обмотці підвищувального високовольтного трансформатора з електронним БПН. Форма напруги близька до синусоїди з нормованими параметрами, це підтверджує спектрограма 4, б. В спектрі сигналу присутні, переважно, тільки 3-я гармоніка, а сумарний коефіцієнт нелінійних спотворень не перевищує 1%. Проникнення комутаційних завад в мережу випробувальної напруги виключено за рахунок живлення вихідного каскаду підсилювача класу D стабільною напругою від спеціального джерела живлення постійного струму.

В результаті заміни електромеханічного БПН на електронний вага УИМ – 90 знизилась на 1,2 кг, споживана потужність – з 500 Вт до 100 Вт, що дозволяє розробити установку з автономним акумуляторним живленням.

Порівняння характеристик модернізованої установки УИМ – 90 та світових аналогів підтверджує її конкурентоспроможність на міжнародному рівні (див. табл. 1).

Аналізуючи технічні характеристики, можна відзначити, що УИМ – 90 має відносно невелику вагу, можливість підключення до ПК для управління та подальшої обробки результатів випробувань за допомогою блоку безпроводного зв'язку Bluetooth. Крім того, по запиту замовника УИМ – 90 може мати:

- вбудований пристрій для друку протоколу випробувань;
- максимальну випробувальну напругу 100 кВ.

Можливість управління процесом випробування за допомогою смартфона робить УИМ – 90 унікальним пристроєм серед провідних світових аналогів.

Таблиця 1 – Технічні характеристики УИМ – 90 та світових аналогів

Назва пристрою	U, кВ	IEC 60156-2013	Ручний режим	Друк чека	ПК	Смартфон	Маса, кг
УИМ-90 (UA)	90 (100*)	+	+	+(*)	Bluetooth	+	27
OLT-90A / M (UA)	90	+	+	+	USB	–	25
BA100 b2 electronic GmbH (AU)	100	+	+	+	Bluetooth, USB	–	32
Скат-М100В (RU)	100	–	+	+	USB	–	41
АИМ-90А (RU)	90	–	+	+	–	–	33
ZWJD111 (China)	80 (100*)		+	+	USB	–	40
PORTATEST Type (Ge)	60; 80; 100	+	+	+	RS-232	–	45
Megger (UK) OTS60/80/100AF	60; 80; 100	+	+	+	USB	–	30
DTA 100 C(AU)	100	+	+	+	USB	–	39

Примітка : * – опціональні можливості

Висновки

Проаналізовано причини спотворень результатів визначення Упр рідких діелектриків в установках з електромеханічним БПН.

Розроблена та описана функціональна схема установки УИМ – 90 з електронним БПН.

Створений БПН дозволів отримати синусоїдальну форму випробувальної напруги, незалежної від якості мережі та стрибків напруги.

Авторами поданий пакет документів на отримання патенту України на корисну модель "Пристрій для випробування рідких діелектриків з електронним блоком підйому напруги".

Список літератури

1. Абдурахмонов С.У., Узаков Р., Зокирова И. З. Анализ работы установок для испытания трансформаторного масла на пробой. *Бюллетень науки и практики*. 2018. 4. № 3. С. 130-134.
2. Christian B., Gläser A. The behavior of different transformer oils relating to the generation of fault gases after electrical flashovers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2017. V. 84. P. 261-266. doi: 10.1016/j.ijepes.2016.06.007.
3. Yang Q., Su P., Chen Y. Comparison of Impulse Wave and Sweep Frequency Response Analysis Methods for Diagnosis of Transformer Winding Faults. *Energies*. 2017. V. 10. №4. P. 431. doi: 10.3390/en10040431.
4. ГОСТ 6581–75 – *Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний*.
5. IEC 60156-2013 – *Insulating liquids. Determination of the breakdown voltage at power frequency*.
6. Marković M., Štih Ž. New method for prediction of insulating liquid AC breakdown. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2017. Vol. 24. 1. P. 437-454. doi: 10.1109/TDEI.2016.005940.
7. Calcara L., Sangiovanni S., Pompili M. Standardized methods for the determination of breakdown voltages of liquid dielectrics. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2019. Vol. 26. 1. P. 101-106. doi: 10.1109/TDEI.2018.007685.
8. Колиушко Г. М., Пличко А. В., Понуждаева Е. Г. Создание установок для испытания масла УИМ – 90, этапы её модернизации. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Техніка та електрофізика високих напруг*. – Х.: НТУ "ХПІ". 2015. №36 (1208). С. 37–42.
9. Жинжиков В. М., Истомин А. Е., Колиушко Д. Г., Понуждаева Е. Г. Установка для испытания пробивного напряжения жидких диэлектриков с блоком радиоканала. *Енергетика та електрифікація*. 2017. №8-9. С. 68–71.

10. Истомин О. Е., Колиушко Д. Г., Понуждаева О. Г., Руденко С. С. Пристрій для випробування рідких діелектриків. Патент України на корисну модель № 138523. 2019.
11. Fayed M. M., Mansour D. A., Izzularab M. A. Dielectric Properties of Nanooil Impregnated Paper Insulation System, 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC). Glasgow. 2018. P. 1-4. doi: 10.1109/UPEC.2018.8542098.

References (transliterated)

1. Abdurahmonov S., Uzakov R., Zokirova I. Analysis of the installations operation for testing transformer oil to breakdown. *Bulletin of Science and Practice*, 2018, 4, 3, 130-134.
2. Christian B., Gläser A. The behavior of different transformer oils relating to the generation of fault gases after electrical flashovers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2017, Vol. 84, pp. 261-266, doi: 10.1016/j.ijepes.2016.06.007.
3. Yang Q., Su P., Chen Y. Comparison of Impulse Wave and Sweep Frequency Response Analysis Methods for Diagnosis of Transformer Winding Faults. *Energies*, 2017, Vol. 10, №4, pp. 431, doi: 10.3390/en10040431.
4. GOST 6581–75 – *Materialy elektroizolyatsionnyie zhidkie. Metody elektricheskikh ispytaniy*.
5. IEC 60156-2013 – *Insulating liquids. Determination of the breakdown voltage at power frequency*.
6. Marković M., Štih Ž. New method for prediction of insulating liquid AC breakdown. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2017, Vol. 24, 1, pp. 437-454, doi: 10.1109/TDEI.2016.005940.
7. Calcara L., Sangiovanni S., Pompili M. Standardized methods for the determination of breakdown voltages of liquid dielectrics. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2019, Vol. 26, 1, pp. 101-106, doi: 10.1109/TDEI.2018.007685.
8. Koliushko G. M., Plichko A. V., Ponuzhdaeva E. G. Sozdanie ustanovki dlya ispytaniya masla UIM – 90, etapy eyo modernizatsii, *Visnik NTU "HPI". Seriya: Tekhnika ta elektrofizika visokih naprug* – H.: NTU "HPI", 2015, № 36 (1208), pp. 37–42.
9. Hinzhirov V. M., Istomin A. E., Koliushko D. G., Ponuzhdaeva E. G. Ustanovka dlya ispytaniya probivnogo napryazheniya zhidkih dielektrikov s blokom radiokanala. *Energetika ta elektrifikatsiya*, 2017, №8-9, pp. 68–71.
10. Istomin O. Ye., Koliushko D. G., Ponuzhdayeva O. G., Rudenko S. S. Pry'strij dlya vy'probuvannya ridky'h dielektry'kiv. Patent Ukrainy' na kory'snu model' № 138523. 2019.
11. Fayed M. M., Mansour D. A., Izzularab M. A. Dielectric Properties of Nanooil Impregnated Paper Insulation System, 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/UPEC.2018.8542098.

Відомості про авторів (About authors)

Богатирьов Ігор Миколайович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, м. Харків, Україна; e-mail: bogin@dergachi.net

Igor Bogatirov – Docent of the Department of Electric Power Stations, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: bogin@dergachi.net

Понуждаєва Олена Геннадіївна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач лабораторії Науково-Дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія" м. Харків, Україна; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Helena Ponuzhdayeva – laboratory manager of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Коліушко Денис Георгійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри автоматизованих електромеханічних систем, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-3112-4260; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Denis Koliushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Senior researcher of the Department of Automated electromechanics systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3112-4260; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Руденко Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник Науково-Дослідного та проектно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-2544-1545; e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Serhii Rudenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-2544-1545, e-mail: nio5_molniya@ukr.net

Істомін Олександр Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова; ORCID: 0000-0002-5709-6459; e-mail: a.e.istomin@gmail.com.

Alexander Istomin – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Docent of the Department of Information Technologies and Systems of Wheeled and Tracked Vehicles named after A.A. Morozov, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5709-6459; e-mail: a.e.istomin@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Богатирьов І. М., Понуждаєва О. Г., Коліушко Д. Г., Руденко С. С., Істомін О. Є. Установка для випробування трансформаторної оливи УИМ – 90 з електронним блоком підйому напруги. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 103-108. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.15.

Please cite this article as:

Bogatirov I., Ponuzhdayeva H., Koliushko D., Rudenko S., Istomin A. Dielectrics oil's test mashine wish voltage rice electronic modul. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 1 (7), pp. 103-108, doi:10.20998/2413-4295.2021.01.15.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Богатырёв И. Н., Понуждаева Е. Г., Колиушко Д. Г., Руденко С. С., Истомин А. Е. Установка для испытания трансформаторного масла УИМ – 90 с электронным блоком подъёма напряжения. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 1 (7). С. 103-108. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.15.

АННОТАЦІЯ Для проведення испытаний согласно методике определения пробивного напряжения жидких диэлектриков используются высоковольтные установки, основными частями которых являются высоковольтный повышающий трансформатор, блок подъёма напряжения, испытательная ячейка с электродами и др. Описана установка для испытания трансформаторного масла УИМ – 90 с электромеханическим блоком подъёма напряжения. В связи с жесткими требованиями нормативных документов к форме синусоиды напряжения на электродах ячейки, проведены натурные испытания УИМ – 90, позволяющие оценить влияние качества сетевого напряжения на искажение испытательного напряжения и точность измерений. Выявлено, что при использовании электромеханического блока подъёма напряжения скачки напряжения сети искажают форму синусоиды пропорционально коэффициенту трансформации повышающего трансформатора. Проведенным анализом конструкции этого блока установлено, что использование ЛАТРа и механического регулятора напряжения может вызвать дополнительные искажения формы синусоиды. Принято решение о разработке электронного блока подъёма напряжения, который позволит исключить влияние сети на результаты испытаний. Создан алгоритм формирования сигнала от микроконтроллера, который генерирует линейно нарастающее напряжение, к усилителю, который представляет собой широтно-импульсный модулятор, дальше, к каскаду повышающих трансформаторов. Предложено использовать дополнительный трансформатор для согласования уровней выходного напряжения усилителя и входного напряжения основного высоковольтного трансформатора. Представлена функциональная схема УИМ – 90 с электронным блоком подъёма напряжения и каскадным включением повышающих трансформаторов. Приведенные осциллограмма напряжения и её спектрограмма на первичной обмотке основного трансформатора, полученные в результате реализации разработанного электронного блока подъёма напряжения, демонстрируют, что форма синусоиды напряжения не зависит от качества сети. Проанализировав технические характеристики модернизированного УИМ – 90 и мировых аналогов, можно сделать вывод о его конкурентоспособности на международном уровне.

Ключевые слова: жидкий диэлектрик; напряжение пробоя; повышающий трансформатор; широтно-импульсный модулятор; напряжение сети; испытательная установка

Надійшла (received) 16.02.2021