

Крім того, можливо очищати біогаз за допомогою рослин (водоростей), які в процесі фотосинтезу використовують вуглекислий газ. В окремих випадках такий спосіб очищення може виявитись достатньо вигідним і ефективним, але, як правило, його застосування дуже обмежене.

Отриманий в результаті очищення біогазу вуглекислий газ за певних умов можна використовувати для перемішування біомаси в біореакторі. Вплив перемішування біомаси барботажем CO<sub>2</sub> на питомий вихід біогазу потребує додаткового вивчення, оскільки наявність вуглекислого газу сприяє розвитку мікроорганізмів, що беруть участь в процесі анаеробного розкладу.

Останні досягнення в галузі очищення біогазу від H<sub>2</sub>S стосуються використання методу додавання повітря до біогазу за атмосферного тиску, що дає змогу зв'язувати сірководень киснем. Цей метод зарекомендував себе як достатньо простий, відносно дешевий та практичний і зараз знаходить широке використання в Європі [4].

**Висновки.** Необхідність використання технології анаеробного розкладу з отриманням біогазу визначає потребу в надійних методах його очищення та утилізації. Фізико-хімічні методи очищення є достатньо надійними і можуть застосовуватись як на малих, так і на великих промислових БЕУ. Сьогодні над цією актуальною темою працюють в багатьох науково-дослідних установах України, про що свідчать статті у фахових виданнях.

У цій роботі подано досягнення вітчизняних авторів і підприємств, а також досвід провідних країн світу в напрямку розвитку технологій очищення біогазу. Проведені авторами дослідження водної абсорбції з метою вивчення потенціалу методу і виявлення ефективності очищення доводять можливість широкого використання цього способу очищення біогазу. Виконаний авторами аналіз дає змогу оцінити і вибрати для застосування той чи інший метод очищення біогазу, а також порівняти можливості різних методів та їх економічну доцільність.

1. Wellinger A., Baserga U., Edelmann W., Egger K., Seiler B. *Biogas-handbuch Grundlagen-Planung-Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen*, Verlag Wirz Aarau, 1986. 2. Семенов І.В. *Проектирование биогазовых установок*. – Сумы, 1996. 3. Семенова Т.А., Лейтес И.Л. и др. *Очистка технологических газов*. – М., 1969. 4. *Centralised Biogas Plants – Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities*, Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, 1999. 5. *1-st International Ukrainian Conference on Biomass for Energy*. – Kyiv, 23 –26 September 2002.

УДК 621.001.21;621.316.3

Л. Никонець\*, А. Малиновський\*\*, М. Олійник\*, Н. Мальцева\*  
Національний університет "Львівська політехніка",

\*кафедра електричних станцій,

\*\*кафедра електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства

## МОДЕЛЬ ТІЛА ЛЮДИНИ ЯК ЕЛЕМЕНТА ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СТРУМУ І НАПРУГИ ДОТИКУ

© Никонець Л., Малиновський А., Олійник М., Мальцева Н., 2005

**On the basis of the experimental researches the scheme and parameters of the generalized model of human's day are grounded taking into account the non-linearity of voltampere characteristics of human body that may be used in the schemes of measuring the touching the electric equipment current, that supplies on voltage of different gradient, form and frequency.**

**Постановка проблеми.** Проектування способів та засобів захисту людей від ураження електричним струмом ґрунтується на нормативах допустимих напруг дотику та струмів через тіло людини [1, 2]. Контроль максимально допустимих значень напруг дотику та струмів в аварійному режимі [1] полягає у вимірюванні їх значень в місцях, де може виникнути замикання електричного

кола через тіло людини. Під час вимірювання повинні бути встановлені режими та умови, за яких досягаються найбільші значення контрольованих параметрів, що діють на тіло людини (п. 2.4, [1]). Ці режими та умови [1] не конкретизує, лише для частоти 50 Гц наведені значення опорів, що моделюють тіло людини залежно від розрахункової тривалості дії напруги та характеру електроустановок, які збігаються зі співвідношеннями допустимих напруг та струмів за [1]. Цей підхід вступає в суперечливість з п.2.4 [1].

Напруга дотику – це частина напруги джерела ураження, що припадає на тіло людини у разі одночасного її дотику до двох точок електричного кола. У загальному випадку стосовно умов ураження людини електричним струмом до елементів електричного кола можна віднести усі можливі об’єкти, через які проходить електричний струм, у тому числі: ізоляцію струмовідних частин, корпус (кожух) електрообладнання, пристрої заземлення та тіло людини.

**Аналіз останніх досліджень.** Міжнародні стандарти МЕК [4], що діють в Україні, для електроустановок, які виконані згідно з їх вимогами, передбачають відповідний максимальний час вимкнення залежно від номінальної напруги електрообладнання (а не від значення напруги дотику), тому [3] передбачає вимірювання струмів дотику тривалістю 1 с і більше, тобто для випадку, коли захисти не діють, а людина мусить сама звільнитися від струмоведучих частин.

У [3] запропоновані методи вимірювання для чотирьох реакцій тіла на дію електричного струму (відчуття, скорочення м’язів, можливість самостійного звільнення від провідника, електричні опіки) використовують, як вважають розробники, “представницьку” модель тіла (рис. 1). Ця модель обрана стандартом для найзагальніших випадків дії струму різного роду (постійного, змінного з частотою від 15 до  $10^6$  Гц, синусоїдального чи несинусоїдального).

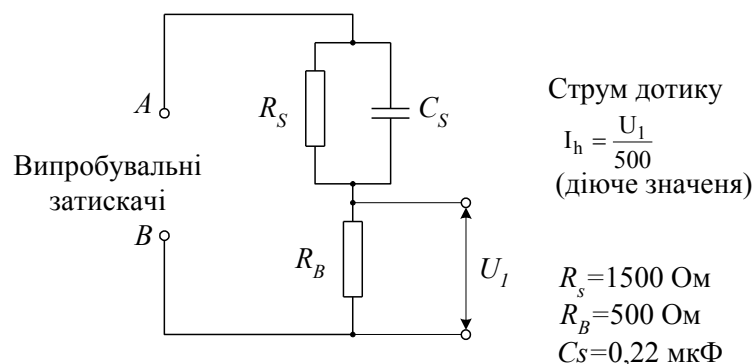


Рис. 1. Модель тіла людини за стандартом IEC 60990

Суть рекомендованих там схем вимірювання зводиться до приведення будь-яких реальних дій до еквівалентних та порівняння еквівалентних дій з допустимими значеннями. Допустимі відхилення параметрів елементів моделі тіла та елементів, що еквівалентують дії струму, не повинні перевищувати 1–5 %. Тобто розробники сподівалися отримати результат із вказаною точністю.

Для нормального стану обладнання випробування згідно з методикою [3] виконують, з’єднуючи клему А вимірної схеми (рис. 2) по черзі з кожною незаземленою провідною чи доступною для контакту через кожух обладнання струмовідною частиною електроустановки. Усі випробувальні перемикачі  $e$ ,  $n$ ,  $l$  замкнуті ( $L$  – затискачі для приєднання лінії, PE – затискач захисного уземлення).

Для аварійного стану обладнання, що має захисне чи робоче з’єднання із землею, клему А вимірювального приладу з’єднують із затискачем уземлення обладнання об’єкта випробування (ОВ). Вимірювання повинні бути проведені для кожного з можливих пошкоджень, точно зазначених в пунктах від 6.2.2.1 до 6.2.2.8 стандарту [3].

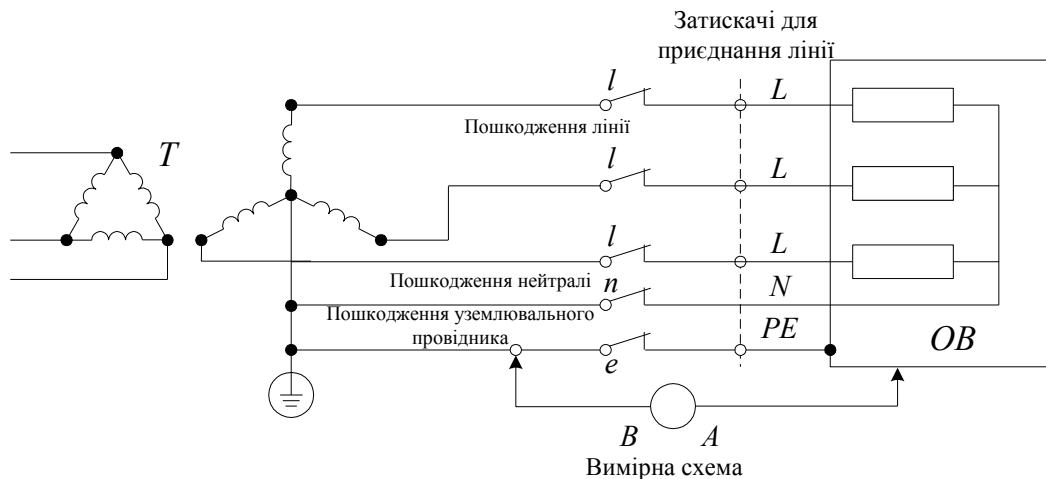


Рис. 2. Схема вимірювання струму дотику за IEC 60990

На відміну від стандартів України, цей стандарт пропонує як розрахунковий режим пошкодження (обриву) захисного (PE) чи нейтрального (N) провідника. В цьому випадку (перемикач  $e$  чи  $n$  розімкнений) напруга дотику до корпусу обладнання обумовлюється скінченними значеннями опорів ізоляції струмовідних частин та відповідно залежить від параметрів моделі тіла людини, яка застосовується в досліді.

Особливим випадком ураження людини є дотик її до корпусу електрообладнання, на якому у нормальному режимі напруга може мати місце лише за погіршення стану ізоляції струмовідних частин. Опір ізоляції тут можна віднести до внутрішнього опору джерела живлення, його значення може бути більшим від опору тіла людини. У такому разі за незмінних значень внутрішнього опору та напруги джерела ураження із зростанням опору тіла людини напруга дотику буде зростати. Якщо площа дотику людини до відкритої провідної частини прямує до нуля, напруга дотику прямує до напруги джерела ураження. Тобто згідно з п.2.4 [1] для визначення максимально можливої напруги дотику потрібно вимірювати напругу джерела ураження. Що стосується максимальних значень струму через тіло людини, то рекомендації [1] формальних зауважень не викликають. Можливо і необхідно дискутувати з [1] на тему – чи дійсно вказані там значення струму є допустимі?

Отже, можна зробити висновок, що схеми вимірювання напруг дотику і струму через тіло людини повинні бути різними. Потрібна уніфікована методика, за якою можна отримати вичерпну відповідь щодо можливості експлуатації конкретної електроустановки. На міжнародному рівні таку спробу зроблено [3].

**Завдання досліджень.** Необхідно розробити схеми і пристрої для вимірювання значення електричного струму, що діє на тіло людини, за яким можна визначити допустимість експлуатації електрообладнання, що живиться від джерел енергії довільної форми і частоти напруги. **Метою дослідження** є розроблення узагальненої моделі тіла людини, застосування якої у схемах вимірювання струму у разі дотику до електрообладнання забезпечить отримання результату з заданою точністю.

**Синтез моделі тіла людини.** Виникають особливі вимоги щодо точності відтворення параметрів тіла людини у моделі. Як бачимо з рис. 1, параметри моделі тіла людини за IEC 60990 є незмінними і не залежать від прикладеної до неї напруги. Авторами [5] встановлено, що адекватне відтворення вольт-амперної характеристики тіла людини можливе лише в багатоланковій моделі за умови, коли частина резисторів моделі має нелінійний характер, і запропоновано методику для розрахунку і побудови цієї моделі, яка адекватно відтворює характеристики тіла для довільної частоти.

Отже, модель тіла людини для вимірювання струмів дотику повинна відтворювати природну нелінійну вольт-амперну характеристику тіла людини і тому принципово повинна бути нелінійною. Нижче обґрунтовано параметри розрахункової нелінійної моделі та проведено порівняння результатів, отриманих на нелінійній моделі та моделях, рекомендованих МЕК [3]. Враховано вимоги [2, 3] прийняти як розрахункову модель з параметрами опору, нижче яких мають 5 % людей.

Проведені нами дослідження [6] показали, що для напруги  $U_h=1,5$  В частотна характеристика, що відповідає згаданим 5 % людей, за умови великої площі дотику та шляху струму “рука-рука”, описується рівнянням

$$Z_h = \frac{460}{f + 135} + 0.65 \text{ (кОм)},$$

де  $f$  – частота, Гц.

За цим рівнянням та за методикою, викладеною у [7, 8, 9], синтезована восьмиланкова лінійна модель тіла людини, параметри якої наведені в табл. 1. Кожна з восьми послідовних ланок моделі містить паралельно сполучені резистор і конденсатор. У табл.1 наведені опори резисторів, що відповідають їх значенню за малої напруги дотику, коли резистори усіх ланок працюють на лінійній частині ВАХ. Ці значення прийняті як початкові для резисторів з нелінійними ВАХ. У табл. 2 наведені координати точок частотної характеристики лінійної моделі тіла людини (тут  $Z_{екс}$  – повний опір тіла людини, одержаний експериментально;  $Z_{розра}$  – розрахунковий опір моделі тіла людини), а в останній графі подані значення похибки відтворення експериментальних даних на моделі, що свідчать про високу точність наближення характеристики розрахункової моделі до реальної характеристики тіла.

У ході синтезу нелінійної моделі на підставі результатів досліджень [5, 10, 11, 12] резистори 7-ї та 8-ї ланок моделі прийняті лінійними. Сума їх опорів збігається з асимптотичними значеннями опору згідно з [2] (для постійної та змінної з частотою 50 Гц напруги).

Для визначення характеру нелінійності резисторів 1-ї – 6-ї ланок моделі було прийнято згідно з [2] значення резистансу тіла людини  $R_h=2,2$  кОм при  $U_h=25$  В з розрахунку, що менший опір мають лише 5 % людей, та виміряне авторами значення опору такої самої представницької спільноти людей на постійній напрузі 1,5 В. Синтезоване, з врахуванням методики [5] рівняння вольт-амперної характеристики нелінійної моделі (на постійній напрузі) має вигляд

$$U_h = U_{ннл} + 0.65I_h = \exp(0.779773035 \ln(I_h) + 0.9615200378) + 0.65I_h,$$

де  $U_h, I_h$  – відповідно напруга і струм моделі тіла людини.

Враховуючи, що сума опорів резисторів  $R_7+R_8=668,3$  Ом залишається незмінною і вони лінійні, з наведеного рівняння можна виділити характеристику нелінійної частини моделі тіла людини –  $U_{ннл}$ . Приймаючи ідентичність характеру нелінійності резисторів  $R_1-R_6$ , їх вольт-амперні характеристики можна розрахувати, використовуючи початкові значення резистансів, за формулою

$$U_{hi} = f(I_{hi}) = U_{ннл} f(I_h) \frac{R_i}{\sum_{i=1}^6 R_i}.$$

Сформована в такий спосіб узагальнена модель тіла людини дає змогу виконати дослідження впливу на людину напруг довільного значення частоти.

Результати розрахунку відношення діючого значення напруги дотику до діючого значення струму через синтезовану модель тіла людини залежно від частоти та величини напруги дотику показані на рис. 3. Тут же показані такі самі характеристики (суцільні лінії), отримані за допомогою лінійних моделей, що пропонуються МЕК [3]. Враховано, що ємність конденсатора  $C_s$  може мати значення 0,22 мкФ для малих площ дотику і 0,33 мкФ – для великих.

Таблиця 1

## Параметри синтезованої лінійної моделі тіла людини

№ ланки	R, [Ом]	C [мкФ]	1/C	Стала затухання [с]
1	638.4	10.731907	93180.08	0.0068515
2	598.9	1.714654	583208.14	0.0010268
3	1087.7	2.058276	485843.46	0.0022389
4	566.5	0.996972	1003037.04	0.0005648
5	235.3	0.802336	1246360.60	0.0001888
6	120.6	0.374083	2673206.87	0.0000451
7	267.1	0.001782	561073033.47	0.0000005
8	401.2	0.000008	122019626118.13	0.0000000

Таблиця 2

Частотні характеристики тіла людини ( $Z_{екс}$ ) і його лінійної моделі ( $Z_{розр}$ )

Частота, Гц	$Z_{екс}$ , Ом	$Z_{розр}$ , Ом	Похибка %
10.0	3822.00	3817.5	0.119
20.0	3617.00	3624.0	-0.192
30.0	3437.00	3438.3	-0.038
40.0	3278.00	3277.1	0.028
50.0	3136.00	3135.0	0.033
75.0	2840.00	2838.6	0.049
100.0	2607.00	2605.7	0.049
150.0	2264.00	2265.5	-0.067
200.0	2023.00	2026.6	-0.179
300.0	1707.00	1709.4	-0.139
400.0	1509.00	1509.1	-0.005
500.0	1374.00	1372.5	0.111
600.0	1275.00	1273.7	0.099
700.0	1200.00	1199.0	0.085
750.0	1169.00	1168.0	0.086
800.0	1141.00	1140.3	0.058
900.0	1094.00	1093.1	0.083
1000.0	1055.00	1054.2	0.075
1250.0	982.00	981.8	0.017
1500.0	931.00	932.0	-0.105
2000.0	865.00	867.7	-0.308
3000.0	796.00	798.9	-0.359
5000.0	739.00	736.9	0.280
10000.0	695.00	691.0	0.569
30000.0	665.00	670.5	-0.822
50000.0	659.00	665.8	-1.031
100000.0	654.00	652.0	0.307

На рис. 4 та 5 показані залежності від частоти напруги дотику відношення діючих значень струмів запропонованої авторами моделі, що враховує нелінійності вольт-амперних характеристик тіла людини –  $I_{нлм}$ , та моделі, що використовуються МЕК. Показані на цих рисунках залежності свідчать про значні відхилення характеристик моделей МЕК від характеристик запропонованої авторами нелінійної моделі, внаслідок чого похибки вимірювання з використанням моделі МЕК можуть значно перевищувати допустимі, на які сподівалися розробники.

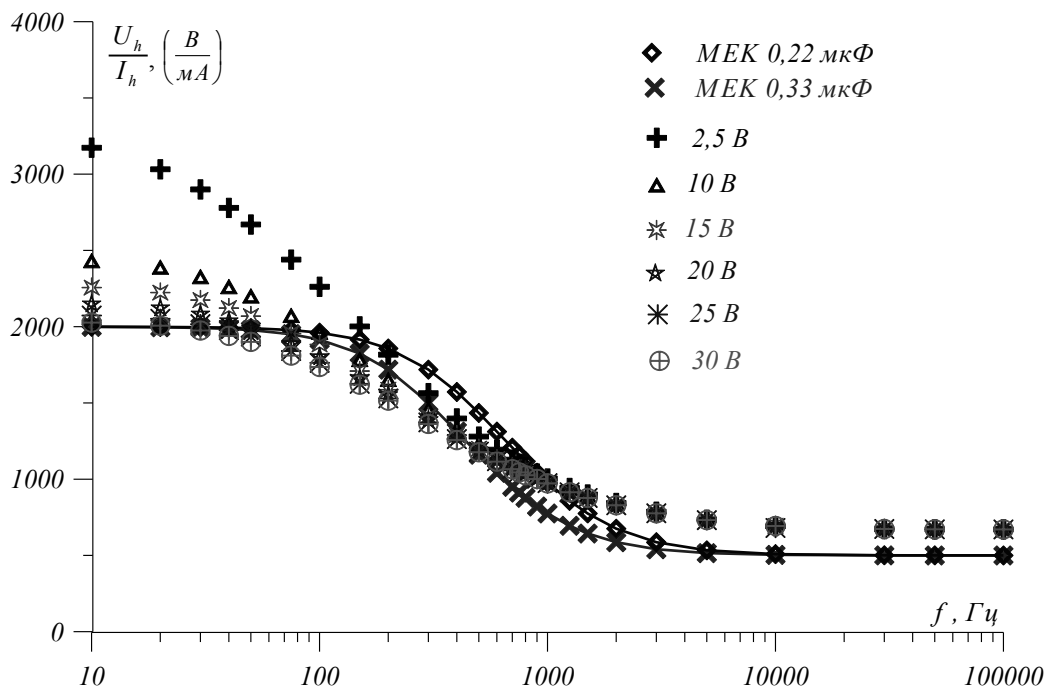


Рис. 3. Залежність від частоти відношення діючих значень напруги і струму запропонованої авторами моделі тіла людини та моделей MEK

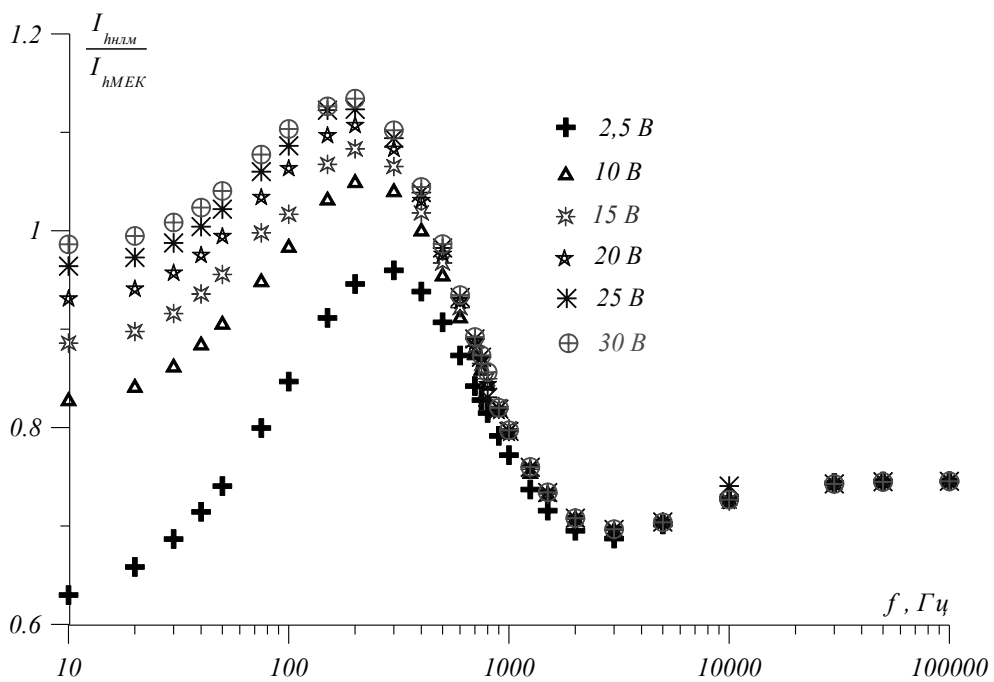


Рис. 4. Залежність від частоти відношення діючих значень струмів нелінійної моделі тіла запропонованої авторами та моделі тіла людини за матеріалами MEK (ємність конденсатора моделі MEK 0,22 мкФ) для множини напруг

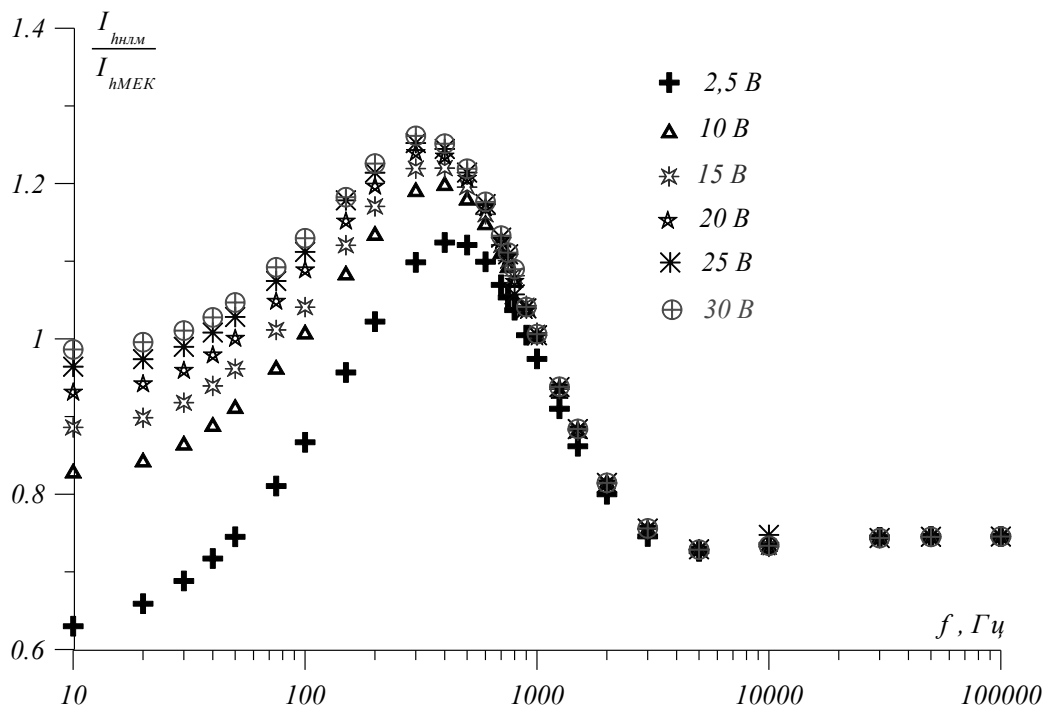


Рис. 5. Залежність від частоти відношення діючих значень струмів нелінійної моделі тіла запропонованої авторами та моделі тіла людини за матеріалами МЕК (ємність конденсатора моделі МЕК 0,33 мкФ) для множини напруг

**Висновки.** 1. Запропонована МЕК лінійна модель тіла для вимірювання струму дотику в нормальних та аварійних режимах експлуатації електрообладнання неадекватно відтворює характеристику тіла, оскільки не враховує нелінійності його вольт-амперної характеристики.

2. Показано, що похибки вимірювання з використанням моделі тіла людини за МЕК значно перевищують допустимі відхилення параметрів моделі (5 %).

3. Запропонована нелінійна модель тіла людини дає змогу одержати точніші, порівняно з моделлю МЕК, значення напруг дотику і струмів крізь тіло людини.

1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. *Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Введен с 01.07.1983 г., изменение №1 введено в действие с 01.07.1988 г.*
2. IEC TECHNICAL REPORT 60479-1. *Effects of current on human beings and livestock. Part 1. General aspects. Third edition. 1994-09.*
3. IEC TECHNICAL REPORT 60990. *Methods of measurement of touch current and protective conductor current. Second edition. 1999-08.*
4. ГОСТ 30331.1-3-95. *Электроустановки зданий. Часть 4. Требования к обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.*
5. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Лисяк Г.М., Феценко П.П., Комаров В.І. *Вольт-амперні характеристики тіла людини на змінній напрузі // Энергетика и электрификация. – 1999. – №2. – С.43–46.*
6. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Лисяк Г.М., Феценко П.П., Мальцева Н.Г. *Частотні характеристики тіла людини // Энергетика и электрификация. – 1999. – №5. – С. 34–37.*
7. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Гапанович В.Г., Комаров В.І., Феценко П.П. *Залежність параметрів тіла людини і його лінійних моделей як елемента електричного кола від площі поверхні дотику до електродів // Энергетика и электрификации. – 2001. – №2. – С. 51–53.*
8. Никонець Л.О., Малиновський А. А., Гапанович В.Г., Комаров В.І. *Вплив стану організму людини на параметри лінійної моделі тіла як елемента електричного кола // Вісник Інженерної академії України. – 2000. – №2. – С.28–30.*
9. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Комаров В.І., Натальченко В.А., Черемних Є.В. *Синтезування і тестування моделі тіла людини як елемента електричного кола // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Електроенергетичні та електромеханічні системи”. – 2000. – № 403. – С.114–119.*
10. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Мальцева Н.Г., Музичак А.З. *Електричні параметри тіла людини у разі дії змінної напруги // Теоретична електротехніка. – 2002. – Вип.56. – С. 161–166.*
11. Никонець Л.О., Малиновський А.А., Лисяк Г.М., Лагутін Т.М. *Методика визначення*

вольт-амперних характеристик тіла людини за дослідними даними, знятими у безпечному діапазоні напруг // *Энергетика и электрификация*. – 2003. – №5. 12. Никонець Л.О., Маліновський А.А., Лисяк Г.М., Фещенко П.П., Комаров В.І. Вольт-амперні характеристики тіла людини на змінній напрузі довільної частоти та методика визначення параметрів тіла // *Вісник Інженерної академії України*. –1999. – № 2–3. – С. 52–54.

УДК 621.311.018.001.5

Л. Никонець, Д. Сіваков, О. Сівакова  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електричних станцій

## ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЕЛЕМЕНТІВ РЕГУЛЯТОРА СТАТИЧНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРЯМОГО РЕГУЛЮВАННЯ

© Никонець Л., Сіваков Д., Сівакова О., 2005

**Characteristics to a regulator of the static equalizers of jet capacity of direct regulation are submitted.**

**Постановка проблеми.** Розроблені в Національному університеті “Львівська політехніка” принципи створення компенсаторів реактивної потужності (КРП) прямого регулювання [1] дали змогу запропонувати високоефективні, дешеві технічні рішення, перевагою яких є значне зменшення потужності регулятора. Розроблені компенсатори на базі вольтододатних трансформаторів типу ВРТДНУ-240000/35/35/-72У1 успішно пройшли дослідно-промислові перевірки в ВАТ “Новосибірськенерго” та “Оренбургенерго”. Оскільки вольтододатні трансформатори типу ВРТДНУ-240000/35/35/-72У1 зняті з виробництва, актуальним є створення нового регульовального трансформаторного агрегата спеціально для компенсаторів прямого регулювання.

**Аналіз останніх досліджень.** Принципи розроблення компенсаторів, де як регульовальні трансформатори використовуються стандартні лінійні регульовальні агрегати, розглянуто в [2]. В [3] наведено обґрунтування комплексу технічних засобів, які забезпечують надійність роботи регульованого джерела реактивної потужності. В [4] наведено загальні технічні вимоги до регулятора статичного компенсатора реактивної потужності, але відсутні технічні вимоги до його основних елементів.

**Завдання досліджень.** Проаналізувати різницю умов роботи регулятора напруги у складі компенсатора від регулятора загального призначення та сформулювати технічні вимоги до його основних елементів.

**Технічні вимоги до елементів регулятора.** В [4] обґрунтовано принципову схему регулятора напруги, який складається з послідовного трансформатора та регульовального автотрансформатора (рис. 1).

**Технічні вимоги до параметрів послідовного трансформатора.** Коефіцієнт трансформації послідовного трансформатора агрегата визначається як

$$K_{T\text{ ПТ}} = \frac{38,5}{U_{\text{ном.збуд.рег.}}} \quad (1)$$

Номінальна потужність регулятора

$$S_{\text{ном}} \leq \sqrt{3} U_{\text{ном.збуд.рег.}} \cdot I_{\text{ном РПН}} \quad (2)$$

де  $I_{\text{ном РПН}}$  – номінальний струм пристрою РПН, що випускається промисловістю.