

Технічні науки/3. Енергетика

Д.т.н. Кутін В.М., к.т.н. Рубаненко О.Є.,

к.т.н. Поліщук Л.К., асп. Мисенко С.В.

*Вінницький Національний Технічний Університет, Україна*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ**

**Анотація:** Обґрунтовується необхідність вдосконалення методів та засобів технічного діагностування високовольтних вимикачів для підвищення їх надійності в умовах експлуатації. Побудовано діагностичні моделі для визначення залежності між технічним станом рухомої контактної системи і приводом елегазового вимикача. Визначено діагностичні параметри оцінки технічного стану окремих вузлів приводу елегазового вимикача.

**Ключові слова:** високовольтний вимикач, діагностування, дугогасильний пристрій, приводний механізм, швидкісні характеристики, високочастотний сигнал, математична модель, пристрій контролю швидкісних характеристик.

**Вступ.** В електроустановках і системах передачі струму високої напруги основними комутаційними апаратами автоматичної дії, за допомогою яких виконуються будь-які зміни в колах струму при всіх можливих в даній точці системи режимах роботи, є вимикачі. На підстанціях електроенергетичних систем експлуатується велика кількість як застарілих типів оливних та повітряних вимикачів, таких як ВВ-330Б, ВВН-110Б, ВВБ-750Б, ВВБМ-110, ВВШ-110, МКП-35, ММО-110, ВМП-110, так і нових елегазових типів відомих виробників АBB, AREVA, Siemens, Alstom та інших.

Враховуючи велику кількість різних типів елегазових високовольтних вимикачів, та постійне вдосконалення вже існуючих, під час експлуатації виникає ряд проблем щодо монтажу та їх технічного обслуговування.

Розглядаючи вимикач як деякий високовольтний механізм, можна встановити ряд особливостей, які потрібно враховувати під час проектування, виготовлення та експлуатації високовольтних вимикачів. Особливо складні процеси відбуваються в дугогасильній камері під час вимкнень. До основних характеристик дугогасильних пристроїв відносять характеристику швидкості руху дугогасильних контактів, максимальну величину і характер зміни тиску газоподібного середовища в робочих об'ємах, характеристику перетікання дугогасильного середовища в зону гасіння дуги в окремих стадіях електродугового розмикання, швидкість розтягування і переміщення ствола дуги тощо. Всі вище зазначені характеристики дугогасильних пристроїв залежать від типу та принципу дії приводного механізму [1].

На елегазових вимикачах напругою 110 кВ і вище в більшості випадків застосовуються пружинні приводи у вигляді плоских важільно-шарнірних багатоланкових механізмів. В таких механізмах можна отримати бажану траєкторію переміщення рухомої контактної системи (РКС) і передачу зусиль від привода до контактів.

З досвіду експлуатації відомі такі відмови елегазових вимикачів як: несправність блоків вимкнення, приладів сигналізації тиску, замикання вторинних кіл привода РЛК-220, руйнування склооксидної тяги, витікання дугогасильного середовища, спалення обігрівальних пристроїв та котушок вмикання і вимикання, заклинювання ковзаючих контактів [2].

Вплив зазначених пошкоджень та можливих погіршень технічних характеристик як дугогасильних пристроїв, так і приводних механізмів на надійну роботу вимикачів можна оцінити за допомогою аналізу графіків зміни переміщення рухомих ланок механізму. Зазвичай швидкісні характеристики визначаються в основному на оливних вимикачах та деяких типах елегазових вимикачів за допомогою сенсорів кутового та лінійного переміщення [3]. На інших типах елегазових вимикачів визначення швидкісних характеристик обмежено конструктивними особливостями. Тому запропоновано для контролю параметрів технічного стану дугогасильної камери і приводних механізмів використати метод накладання тестового високочастотного сигналу на коло, яке містить контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання [4]. Визначення цих параметрів на різних частотах тестового сигналу дозволяє підвищити точність контролю з метою виявлення вищезгаданих дефектів на початковій стадії їх розвитку.

### **Основна частина.**

Для визначення впливу стану привідного механізму на високочастотний сигнал запропоновано дослідити особливості роботи привідного механізму елегазового вимикача типу *ZAPIFG145* кВ, який зображено на рис. 1, де 1 – вал, 2 – подвійний важіль, 3 – з'єднувальна штанга, 4 – опорний ізолятор, 5 – комутаційна штанга, 6 – електродвигун, 7 – прилад ручного натягу пружини, 8 – натяжний механізм, 9 – защіпка (вільний хід), 10 – пружина увімкнення, 11 – дисковий кулачок, 12 – приводне коромисло, 13 – розподільник (ВИМК), 14 – защіпка вимикання, 15 – шатун (пружини увімкнення), 16 – пружина вимкнення, 17 – натяжний вал, 18 – амортизатор для комутаційного положення (ВИМК), 19 – розподільник «ВМИК», 20 – защіпка вимикання, 21 – блокувач обертового руху, 22 – кулачок, 23 – вал вимикання, 24 – храповий важіль, 25 –

Рисунок 1- Привідний механізм елегазового вимикача (пружини вимкнення), 26 – привідна штанга, 27 – амортизатор для комутаційного положення «ВМИК», 28 – дугогасильна камера.

Для встановлення залежності зміни швидкості переміщення ланки (комутаційної штанги) РКС від часу складено кінематичну схему механізму, яка зображена на рис. 2, та виконано кінематичне дослідження його роботи [5].

---

Рисунок 2- Кінематична схема привідного механізму та положення його ланок

Для дев'яти положень ланок механізму (на рис.2 спрощено зображено лише чотири положення) побудовано плани швидкостей, один з яких зображено на рис.3, які дозволяють визначити швидкості точок  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , що відповідають швидкостям переміщення ланок (комутаційним штангам, які переміщують рухомі контакти) РКС [5].

Графоаналітичним методом визначено швидкість руху  $v_{к1}$  комутаційних штанг РКС (точки  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) під час операції увімкнення справного вимикача для відповідних положень ланок механізму, результати яких подано в табл.1

Рисунок 3- План швидкостей для 1 положення

Таблиця 1 – Результати розрахунків швидкостей переміщення контактів справного вимикача

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t, \text{мс.}$	0	5	8	12	17	25	28	30	33	35
$v_{к}, \text{м/с}$	0	2,52	3,88	5,45	7,35	9,9	10,3	9,45	6,1	0

За даними табл. 1 побудований графік (рис. 4, а), який дозволяє виявити

певні закономірності зміни швидкості руху точки  $S_1$  ланки РКС від часу при увімкненні справного вимикача.

Рисунок 4 - Залежність швидкості руху точки  $S_1$  ланки РКС від часу:

$a$  - дослідна;  $b$  – апроксимована

Апроксимацією кривої графіка (рис.4,  $a$ ) поліноміальною функцією четвертого ступеня методом найменших квадратів отримано рівняння залежності швидкості руху контактів вимикача від часу при увімкненні справного вимикача

де  $v_{K1}$  – швидкість руху ланки РКС від часу при увімкненні справного вимикача. (1)

Графік цієї залежності показаний на рис. 4,  $b$ . Цей вираз по суті є математичною моделлю зміни швидкості руху РКС під час операції увімкнення при справному приводі вимикача.

Під час дії зовнішніх та внутрішніх силових факторів в шарнірі шатуна пружини увімкнення збільшується зазор. Він збільшується внаслідок зношування спряжених поверхонь. Це приводить до зміни швидкості переміщення РКС на певному інтервалі руху під час виконання операції. На початку руху РКС на невеликому проміжку часу за рахунок дії сил сухого тертя її швидкість переміщення, при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення, така ж як і при нормальній роботі привідного механізму. Коли дія сили пружини вмикання і інерційних сил перевищує сили сухого тертя певний проміжок часу іде вибирання зазору під час якого швидкість переміщення РКС практично не змінюється. Для встановлення зміни залежності швидкості переміщення РКС при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення були проведені імітаційні дослідження, а саме під час проведення кінематичного дослідження роботи привідного механізму в момент часу  $t=7$  мс було введено збільшення зазору. Для визначення моменту початку вибирання зазору було проведено та проаналізовано відео зйомку операції вмикання. Отримані результати імітаційного моделювання наведені в табл.2, за якими побудована графічна залежність, що представлена на рис. 5,  $a$ .

Таблиця 2 – Залежність швидкості руху ланки РКС від часу при введенні  $\Delta$  зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t, \text{мс.}$	0	5	8	10	12	17	25	28	30	33	35
$v_{K2}, \text{м/с}$	0	2,52	3,88	4,2	4,45	7,35	9,8	10,2	9,45	6,1	0

Рисунок 5 - Залежність швидкості руху ланки РКС від часу під час операції увімкнення при введенні зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення:  $a$  - дослідна,  $b$  - апроксимована.

Як видно з рис. 5  $a$  на проміжку часу від 7 до 13 мс швидкість переміщення РКС практично не змінюється, що підтверджується вибиранням зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення.

Шляхом апроксимації кривої (рис. 5.  $a$ ) методом найменших квадратів з використанням пакету прикладних програм Microsoft Excel за допомогою побудови лінії Тренда з коефіцієнтом регресії 98,6% отримано вираз

який є математичною моделлю зміни швидкості переміщення рухомої контактної системи від часу при несправному привідному механізмі вимикача. Графічна залежність подана на рис.5,  $b$ . Дана математична модель дозволяє виявити відхилення в роботі приводу, що зумовлені збільшення зазору в

шарнірі шатуна пружини увімкнення.

Для встановлення ознак визначення технічного стану роботи шатуна пружини увімкнення, знайдемо значення першої похідної, тобто прискорення  $a_1$  в моменти зміни часу від  $t_1=6$  мс до  $t_1=15$  мс для виразу (1), який відповідає нормальній роботі приводу, а також значення прискорення  $a_2$ , в моменти зміни часу від  $t_1=6$  до  $t_1=15$  мс для виразу (2), який показує відхилення в роботі приводу, що зумовлені збільшенням зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення:

$$; \quad (3)$$

$$=0,3253 \text{ м/с}; \quad (4)$$

$$; \quad (5)$$

$$=0,2926 \text{ м/с}; \quad (6)$$

Визначаємо різницю прискорень

$$\text{м/с}, \quad (7)$$

і чутливість вимірювань

$$(8)$$

Аналогічно виконані обчислення для інших моментів часу в межах від  $t_1=6$  мс до  $t_1=15$  мс, результати яких наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Прискорення в моменти часу від  $t_1=6$  мс до  $t_1=15$  до мс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t, \text{мс.}$	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$a_1, \text{ м/с}^2$	0,325	0,296	0,283	0,284	0,297	0,318	0,346	0,378	0,412	0,445
$a_2, \text{ м/с}^2$	0,293	0,270	0,265	0,277	0,303	0,340	0,386	0,439	0,496	0,555
$\Delta a_1, \text{ м/с}^2$	0,032	0,026	0,018	0,007	0,006	-0,022	-0,04	-0,06	-0,084	-0,11
$\delta, \%$	9,8	8,7	6,3	2,5	2,0	6,9	11,5	16,1	20,3	24,7

Також визначали залежність швидкості руху РКС при зміні пружних характеристик амортизатора увімкнення та демпфера під час операції вмикання. Результати досліджень наведені в табл.4.

Таблиця 4 – Залежність швидкості руху рухомої системи від часу при зміні пружних характеристик амортизатора увімкнення та демпфера.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
$t, \text{мс.}$	0	5	8	12	17	25	28	30	33	35	36	38	39
$v_{кз}, \text{ м/с}$	0	2,68	4	5,55	7,35	9,9	10,3	9,45	6,1	0	-1,1	1	0

На рис. 5 показана залежність швидкості руху РКС від часу під час операції увімкнення вимикача, що отримана дослідним шляхом (рис.5, а), та з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel за допомогою побудови лінії Тренда з коефіцієнтом регресії 95,84 % (рис.5, б). Як видно з графіка, на інтервалі часу  $t=35-38$  мс характерною є вібрація контактів, яка залежить від пружних характеристик амортизатора та демпфера.

Рисунок 5 - Залежність швидкості переміщення рухомої контактної системи від часу під час операції вмикання: а - дослідна, б - апроксимована.

Крива ( рис. 5, б) описується виразом

, (9)

який є математичною моделлю переміщення ланки РКС від часу в разі операції увімкнення вимикача при змінених пружних характеристиках амортизатора вмикання і демпфера.

Для встановлення ознак визначення технічного стану роботи амортизатора вимкнення та демпфера знайдемо значення прискорення  $a_3$  в момент часу  $t_I=34$  мс для виразу (1), який відповідає нормальній роботі приводу, та значення прискорення  $a_4$  в момент часу  $t_I=34$  мс для виразу (9), який показує відхилення в роботі приводу, що зумовлені зміною пружних характеристик демпфера та амортизатора вимкнення:

$$; \quad (10)$$

$$=-2,228 \text{ м/с}; \quad (11)$$

; (12)

$$; \quad (13)$$

Визначимо різницю прискорень

$$\text{м/с}, \quad (14)$$

Порівняння отриманих результатів показує, що при зміні пружних характеристик амортизатора вмикання та демпфера прискорення в кінці переміщення РКС значно перевищує значення прискорення її переміщення при нормальній роботі приводу і система витримує складні динамічні навантаження.

### Висновки.

Проведений аналіз досліджень показав, що дефекти в роботі привідного механізму (збільшення зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення, зміна пружних характеристик амортизатора увімкнення) та дугогасильної камери (робота демпфера, заїдання контактів ковзання та інші) призводять до відхилення від кривих швидкісних характеристик справного вимикача від 2% до 25%.

Побудовано математичну модель зміни швидкості переміщення РКС по якій встановлено ознаки оцінки технічного стану окремих вузлів вимикача.

### Література

1. Кукеков Г.А. Выключатели переменного тока высокого напряжения. / Л.:Энергия, 1972. 336 с.
2. Тимашова Л.В. Анализ повреждаемости выключателей 110-750 кВ / Л.В. Тимашова, И.Л. Шлейфман, И.А. Назаров / Материалы V международной научно-технической конференции «Высоковольтное коммутационное оборудование». Москва. – 2009. – 8 с. Электронный ресурс: [http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv\\_21/file21.pdf](http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv_21/file21.pdf).
3. Сопель М.Ф. До визначення залишкового ресурсу елегазових високовольтних вимикачів 750 кВ / М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик, А. В. Панов, Ю.В. Пилипенко // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. – 2007. – Частина 1, №1(16). – С. 136-139.
4. Кутін В.М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / Рубаненко О.Є., Мисенко С.В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2012. №1.
5. Артоболевский И.И. Структура, кинематика и кинестатика многозвеневых плоских механизмов. ГОНТИ, 1939.- С. 286

