

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ІМПУЛЬСУ В ПАКЕТІ ЛИСТІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ

© Грень Я.В., Роман В.І., 2011

Досліджено залежність часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет листів електротехнічної сталі. На підставі одержаних даних зроблені висновки щодо вдосконалення ультразвукового методу оцінювання стану спресованості листів осердя статора.

Ключові слова: електротехнічна сталь, ультразвуковий імпульс, пресування, розпушення, пакет статора, дефектоскоп, ультразвукова хвиля.

The dependence of ultrasonic pulse passages through electrical steel package is investigated. Based on obtained data are made conclusions about ultrasonic method for improving estimation of stator core sheets extrusion.

Key words: electrical steel, ultrasonic pulse, pressing, loosening, stator package.

Постановка проблеми

Нині в Україні та країнах СРСР експлуатуються турбогенератори, які відпрацювали 40–50 років проти 25 проектних. Крім того, останні роки в найнесприятливіших режимах роботи – споживання реактивної потужності, за навантаження, меншого, ніж 65 % номінального, за значних перепадів навантаження, за умов частих пусків. Такі режими характеризуються підвищеною вібрацією осердя статора, внаслідок чого зменшується ступінь запресування листів активної сталі, стирання міжлистової ізоляції, і, як наслідок, локальних перегрівань ізоляції обмотки статора, зростання втрат в активній сталі. Такі дефекти можуть привести до заміни осердя та обмотки статора, а економічні наслідки співвимірні з ціною нового генератора.

Найзагрозливішим є стан крайніх пакетів осердя статора. На рис. 1 показана частина крайніх пакетів з боку турбіни турбогенератора ТГВ-200: I – П-подібна вставка, що замінює зубець крайнього пакета, який довелося зрізати на висоту пазового клину через замикання у листах активної сталі і відповідно перегрівання; II – викришування листів активної сталі. Дефект вчасно не був виявлений та становив істотну загрозу для ізоляції обмотки. В окремих зубцях наявні значні проміжки (III), інші видаються щільними. Через збільшений час експлуатації зубці вкриті старою емаллю, а в нижній частині мають механічні ушкодження. Загалом розпушення листів сталі осердя статора має нерівномірний характер.



Рис. 1. Крайні пакети статора турбогенератора ТГВ-200

Виявлення на ранніх стадіях послаблення пресування листів активної сталі дає змогу вчасно застосувати заходи щодо їх ущільнення, і, відповідно, припинення деградування дефекту та продовження терміну служби обладнання, яке з економічних та технічних причин неможливо швидко замінити.

Аналіз останніх досліджень

Ознакою недостатнього запресування листів осердя статора турбогенератора є бурий пил, що утворюється внаслідок взаємного тертя окремих листів осердя між собою – (сила тертя між листами має унеможливити відносне переміщення сусідніх листів). Опосередкованою ознакою недостатнього запресування осердя є послаблення гайок стяжних призм та обриви самих призм [5].

Для оцінювання ступеня запресування листів активної сталі використовують щупи, мірою запресування є величина заглиблення клиноподібного щупа між окремими листами активної сталі. Такий метод вимагає значних затрат часу – так один зубець статора турбогенератора ТГВ-200 має 90 пакетів, а весь статор 5400. Проникнення клина між листи може спричинити знищення ізоляції сусідніх листів, утворення замкнутого контуру, виникнення локальних перегрівів осердя [4].

Інший метод оцінювання ступеня запресування листів активної сталі – використання ультразвукової техніки. Це дозволяє за один раз оцінити стан зубця в межах одного пакета та не загрожує міжлистовій ізоляції.

Ультразвуковий метод базується на залежності часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет від ступеня їхньої запресованості [1]. Схема вимірювань наведена на рис. 2.

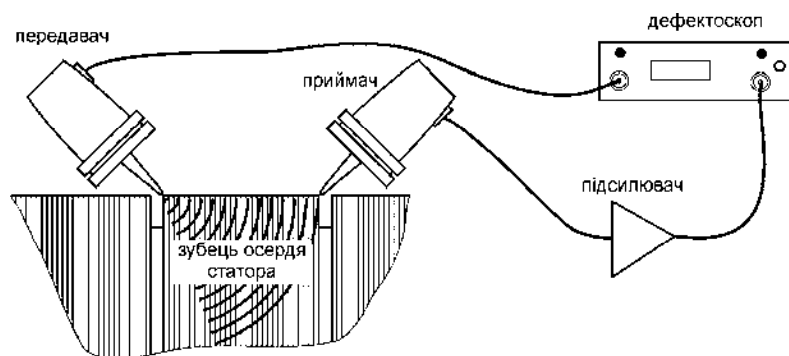
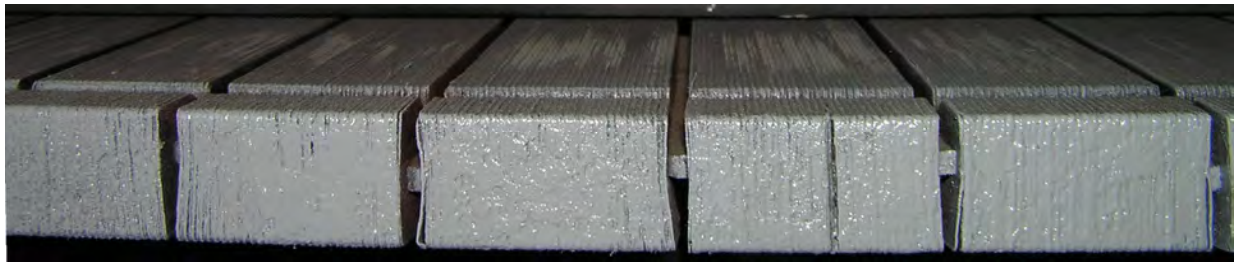


Рис. 2. Схема ультразвукового контролю щільності пресування сталі статора

Оскільки кількість листів у пакеті та їхня товщина залежить від моделі турбогенератора, то час проходження імпульсу через пакет потрібно порівнювати з добутком часу проходження імпульсу через один лист на кількість листів. Тобто передбачається, що залежність часу проходження імпульсу через пакет від товщини пакета є лінійною.

Практичне використання ультразвукового методу виявило низку його недоліків. На рис.3 показані зубці активної сталі турбогенератора ТГВ-200 1963 р.в. З часом виникає звуження вентиляційних каналів між пакетами через відгинання крайніх листів пакета в бік розпірки вентиляційного каналу. Це призводить до погіршення проникності ультразвукового імпульсу через тіло зуба, оскільки зменшується площа прилягання листів у верхній частині зубця, куди, за припущенням, в основному проходить імпульс. Загалом ступінь запресування листів може не зменшуватись. Іншим фактом, який спотворює результати вимірювань, є те, що розпірка вентиляційного каналу не повністю перекриває висоту зубця і внаслідок цього у верхній частині зубця листи стискаються менше ніж на рівні розпірки.

На практиці, результати вимірювань істотно залежать від навиків персоналу. Все це свідчить про необхідність істотного доопрацювання ультразвукового методу оцінювання ступеня запресування листів активної сталі турбогенератора.



a



б

*Рис. 3. Фрагмент крайніх пакетів турбогенератора ТГВ-200:
а – деформовані крайні листи пакета; б – забій поверхні зуба*

Формулювання цілі статті

У роботі досліджено залежність часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет ізолюваних листів електротехнічної сталі з метою вдосконалення методу ультразвукового оцінювання ступеня запресування листів осердя статора турбогенератора.

Дослідження часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет листів електротехнічної сталі

Для досліджень використано пакет електротехнічної сталі ізолюваних оксидною плівкою з 104 листів 158×24 мм товщиною 0.3 мм. Листи пакета між собою не скріплені. Ззовні пакет звукоізолюваний від затискного пристрою шаром електротехнічного картону, щоб усунути впливи відбивання імпульсу в затискному пристрої на результати вимірювання. Схему дослідної установки показано на рис.4. Тиск на пакет становив 665.7 Н/см².

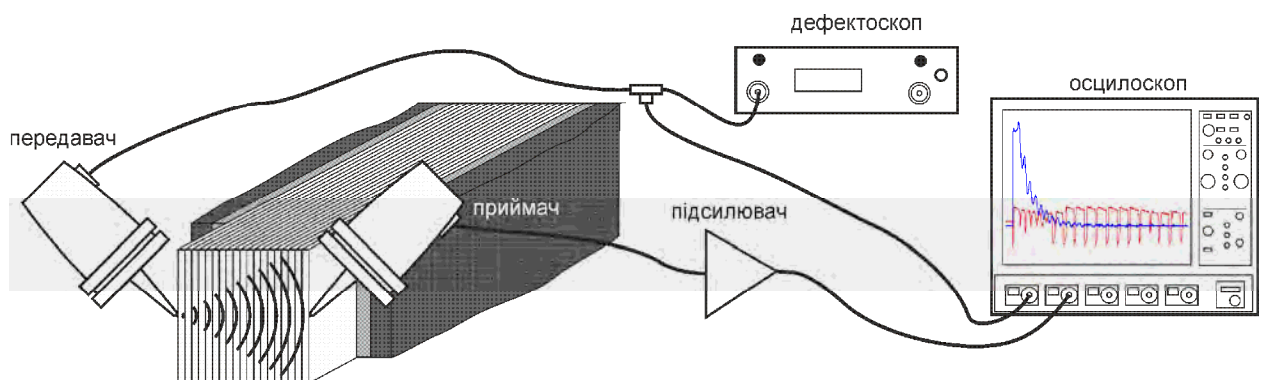


Рис. 4. Схема експериментальної установки

Для генерації ультразвукового імпульсу використано ультразвуковий дефектоскоп УК-14ПМ з п'єзотричний перетворювачем П111-0.06-ПЗ.1 частотою 60 кГц. Приймачем використано такий самий перетворювач. Сигнали з дефектоскопу та приймача реєструвались осцилографом WaveSurfer 24xS-A.

Передавач та приймач встановлювали під кутом 45° до ребра пластини із помірним натиском. Місця встановлення щупа приймача показані на рис. 5.

Осцилограми вихідного імпульсу (на вході передавача) та вхідного відгуку (на виході приймача) показані на рис. 6. Вимірювали час між переднім фронтом імпульсу та першим піком відгуку.

Оскільки пакет виступає за межі губок затискного пристрою, то тиск між листами пакета за межами зубок відрізнятиметься від тиску між губками, то і час проходження імпульсу у відповідних місцях пакета буде відрізнятись. Листи, з яких складається пакет, не є ідеально плоскими і без прикладення стороннього зусилля не щільно прилягають один до одного. Це зумовлює залежність товщини спресованого пакета від зусилля стиску. На рис. 7 показана залежність товщини вільного кінця дослідного пакета від величини його виступу за межі затискного пристрою. Різниця товщини для виступу понад 10 мм, а це відстань від верху зубця до кінця розпірки вентиляційного каналу турбогенератора ТГВ-200, становить понад 1.5 %, що може значно впливати на результати вимірювання часу проходження імпульсу, який є мірою заpresування пакета відповідно до [4].

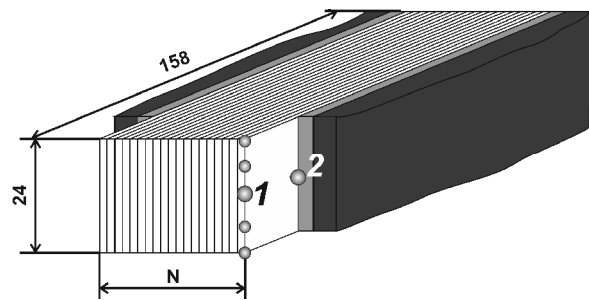


Рис. 5. Місця встановлення щупа приймача

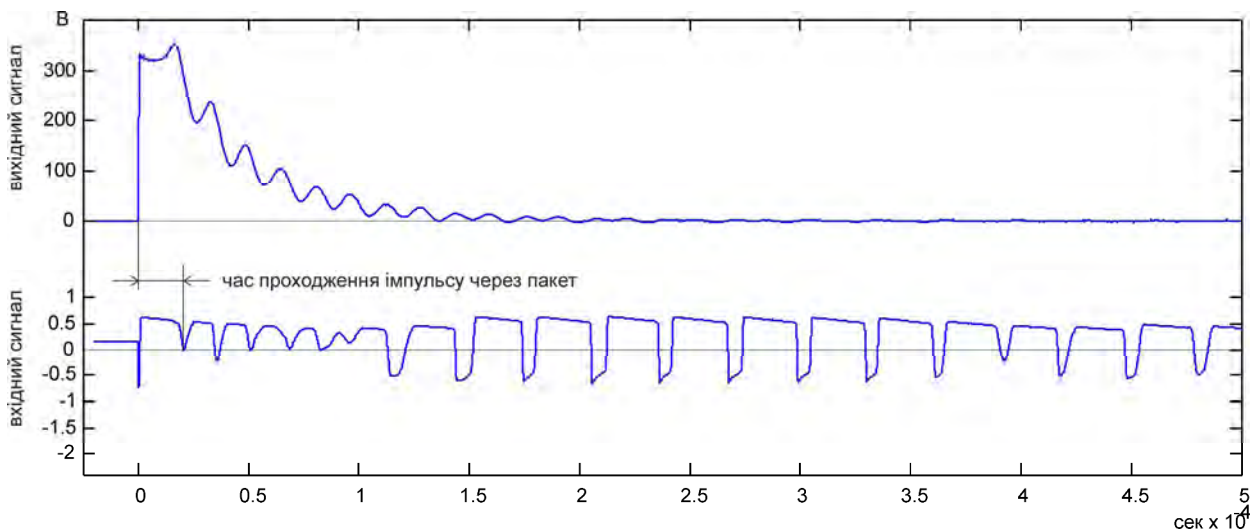


Рис. 6. Осцилограма вхідного сигналу (вхідний імпульс) та вихідного сигналу (вихідний відгук)

На рис. 8 наведені залежності часу проходження імпульсу через пакет залежно від кількості пластин у пакеті. Результатам вимірювань у пункті 1 (рис. 5, верхня частина пакета) відповідає крива 1, а пункту 2 (біля губок затискного пристрою), відповідно, крива 2. Як видно з рисунку крива 1 має значний перепад в проміжку 45–50 листів, що свідчить про розрив функціональної залежності часу проходження імпульсу через пакет по вільній поверхні від кількості листів пакета. До того ж залежність часу проходження імпульсу біля губок затискного пристрою має форму, близьку до лінійної. Відхилення від лінійності спричинені людським фактором – неоднаковість кута нахилу встановлення давачів та сили натиску щупів на пакет.

Як можна побачити з рис. 3 за тривалого часу експлуатації листи у верхній частині зубця загинаються навколо розпірки вентиляційного каналу, а отже, час проходження імпульсу залежатиме від місця встановлення давача по ширині пакета. На рис. 9 показана експериментальна залежність часу проходження імпульсу від розташування щупа по ширині експериментального пакета. З неї видно, в середній частині пакета імпульс проходить швидше ніж у крайніх частинах. Ця картина характерна для різних ступенів стискання пакета. Неістотно на час проходження імпульсу впливають дефекти поверхні. Так поверхневий забій збільшив час проходження імпульсу в середній частині (штрих-пунктирна лінія рис. 9).

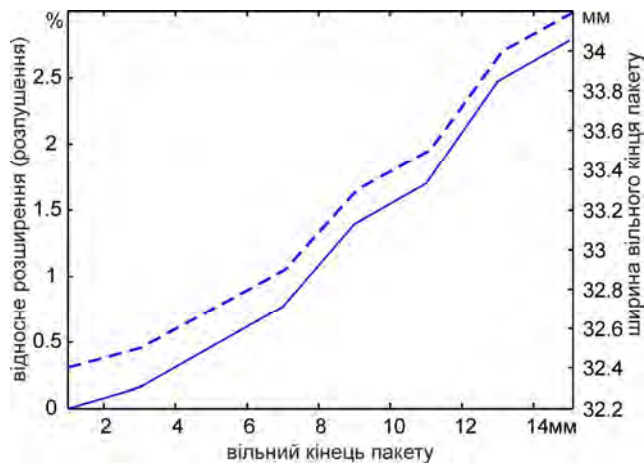


Рис. 7. Залежність часу проходження ультразвукової хвилі через експериментальний пакет залежно від величини тиску пакета

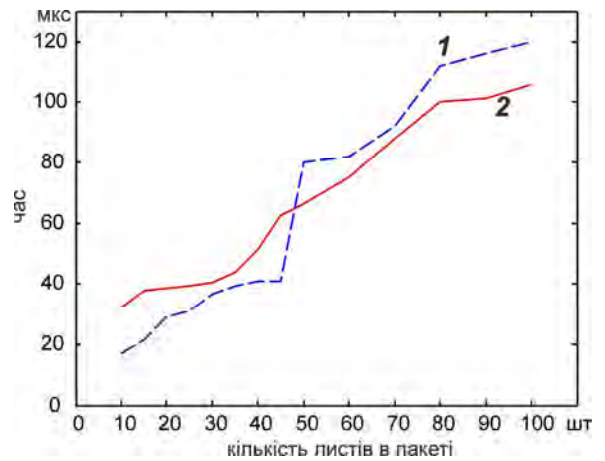


Рис. 8. Залежність часу проходження ультразвукової хвилі від кількості пластин у пакеті

Сила запресування пакета істотно впливає на час проходження імпульсу (рис. 10), до того ж місце встановлення датчиків по ширині пакета має значення тільки за тиску до 400 Н/см² та практично не впливає на час проходження імпульсу за вищих тисків.

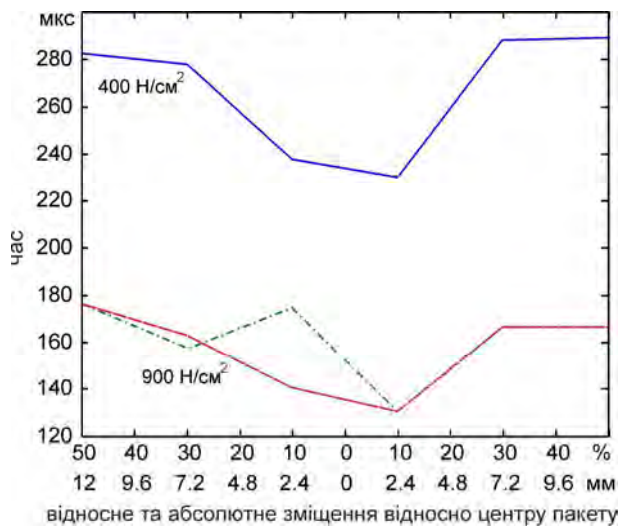


Рис. 9. Залежність часу проходження ультразвукової хвилі для пакета із 104 пластин з двома різними ступенями тиску

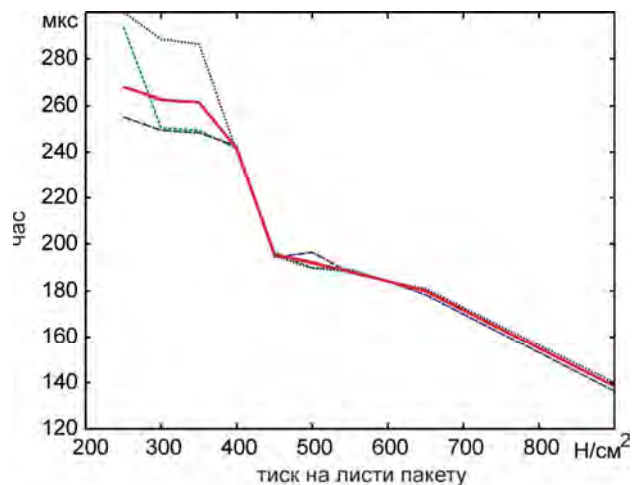


Рис. 10. Залежність розпушення пакета від його виступу за губки затискного пристрою: 1 – розпушення пакета на його кінці; 2 – розпушення пакета біля губок затискного пристрою

Залежність часу проходження імпульсу від величини запресування (тиску) має нелінійний характер та стрибкоподібно змінюється після тиску 400 Н/см². У разі менших тисків результати вимірювання мають вищу дисперсію.

За тиску, меншого за 250 Н/см², вимірювати не вдається, імпульс не проходить через пакет.

Висновки

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що час проходження імпульсу через пакет не є параметром, який однозначно відображає стан запресування пакета. Результати вимірювання значно залежать від навиків персоналу та стану активної сталі – цілісності ізоляції листів сталі, геометричних параметрів крайніх листів, стану лакофарбового покриття поверхні та її дефектів, які істотно відрізняються для діагностованого устаткування.

Метод [1] не враховує нелінійності залежності часу проходження імпульсу через пакет від товщини пакета.

З метою більшого забезпечення відповідності результатів вимірювання до фактичного стану, вимірювання за традиційною схемою [2] давачі слід розташовувати так, як це показано на рис. 11.

За часом проходження імпульсу через пакет не можливо оцінити стан міжлистової ізоляції, що своєю чергою унеможливує застосування заходів щодо припинення його погіршення.

Досліджуючи "вручну", результат залежить від кута нахилу щупа давачів до пакета та сили, з якою оператор притискає давач до пакета.

Оцінювати стан запресування листів активної сталі доцільно не за часом проходження імпульсу через пакет, а на основі аналізу сигналу відгуку. Для усунення впливу людського фактора на результати вимірювань, доцільним є створення роботизованого комплексу, подібного до [2].

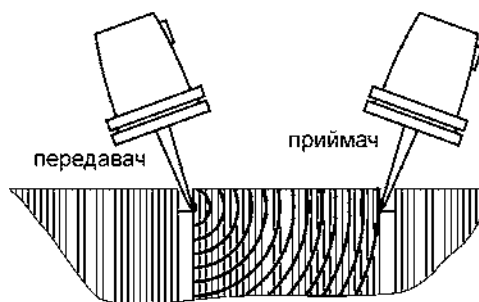


Рис. 11. Схема встановлення давачів

1. Пікульський В.А., Бутов А.В. Ультразвуковий метод оцінки стану пресовки активної сталі статора турбогенератора // *Електрические станции*. – 1993. – № 3.
2. Бутов А.В., Каплин В.Н., Крилов М.П., Пікульський В.А. Использование современных методов диагностики сердечников статоров при проведении ремонтов турбогенераторов ТЭЦ-22 // *Электрические станции*. – 2000. – № 11.
3. Пікульський В.А., Поляков Ф. А. Возможности обеспечения надежной эксплуатации турбогенераторов с длительным сроком службы // *Энергетические станции*. – 2006. – № 4.
4. Бутов А.В., Мамиконянц Л.Г., Пікульський В.А., Подяков Ф.А., Шандибин М.И., Шейдо П.А. Повреждаемость и контроль зубцовых зон запеченных крайних пакетов стали сердечников статоров турбогенераторов // *Электрические станции*. – 2001. – № 5.
5. РД-34А5-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М.: ЭНАС, 1998.