



**СИСТЕМИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА ВЯТЪРНИ ГЕНЕРАТОРИ – ЧАСТ III:
Модели на системи за диагностика и техники за идентификация на повредите.**

**WINDMILL'S DIAGNOSTIC SYSTEM–PART III:
Diagnostic's models and fault detection techniques.**

Димитрина Коева*
ТУ – София, ИПФ – Сливен,
гр. Сливен, бул. “Бургаско шосе” №59,

Статията е постъпила на 01 октомври 2014г.; приета за отпечатване на 20 октомври 2014г.

Summary

Wind turbines are characterized by dynamically changing loading and spinning frequency, which inevitably leads to damage. Therefore, the system for control and monitoring must constantly keep track of the observed parameters. Combining this system with a system for diagnostics would significantly reduce the funds needed for maintenance as well as the idle time due to accidents, which is also unproductive time for the turbine. On the other hand, wind turbines are considered as complex systems, the performance of which is affected by various disturbing effects that are often difficult to be measured and determined. This is a major challenge for building a well-functioning automated system for control, monitoring and diagnostics.

Keywords: Мониторинг на вятърни генератори, повреди, системи за мониторинг и диагностика.

ВЪВЕДЕНИЕ

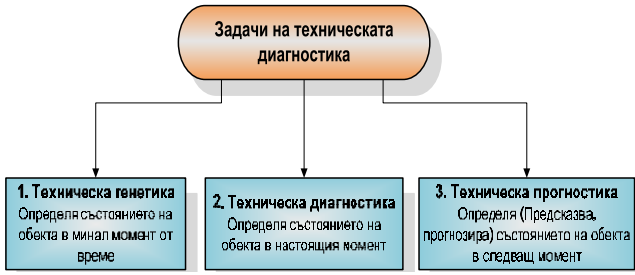
Вятърните турбини (ВТ) се характеризират с динамично изменящи се натоварване и честота на въртене, което неизбежно води до повреди. Ето защо системата за контрол и мониторинг трябва да осигурява постоянно следене на наблюдаваните параметри. Съчетаването на тази система със система за диагностика би довело до значително редуциране на средствата за поддръжка и престоя поради аварии, което е непроизводително време за турбината. От друга страна вятърните турбини се разглеждат като сложни системи, върху работата на които влияят различни смущаващи въздействия, често трудно подлежащи на измерване и определяне. Това е голямо предизвикателство за изграждането на една добре функционираща автоматизирана система за контрол, мониторинг и диагностика.

МОДЕЛИ НА СИСТЕМИ ЗА ДИАГНОСТИКА

Техническото състояние на ВТ е от изключителна важност и е необходимо да бъде своевременно и сигурно наблюдавано, диагностицирано и прогнозирано. Системата за диагностика на ВТ има за цел установява-

нето на текущото техническо състояние на ВТ, в частност електрическият генератор, и откриване на вида и причините за неизправности и/или повреди. Според [1] основните задачи на една система за диагностика са три, фиг. 1. Задачите от първия тип възникват при определяне на причините за аварии, когато настоящото състояние на обекта се различава от състоянието му в миналото. Задачите от третия тип са свързани с определяне на срока на работа или остатъчния ресурс на обекта с цел да се установи най-удобния момент за профилактика и/или ремонт. Основен тип задача е втората, т.к. и при трите се изисква познаване на техническото състояние на обекта в настоящия момент. Съществено значение за функционирането на системите за диагностика има избрания метод за диагностика. Най-общо биват два вида: математически методи и физически (функционални) методи. Математическите методи се основават на математическо описание на входно – изходните връзки между параметрите x_i и y_i . Колкото математическият модел по-пълно описва обекта, толкова диагнозата е по-достоверна. Според степента на адекватност на математическия модел се определя достоверността на диагнозата. Класификацията на диагностичните модели е показана на фиг. 2.

* E-mail: dkoeva@abv.bg

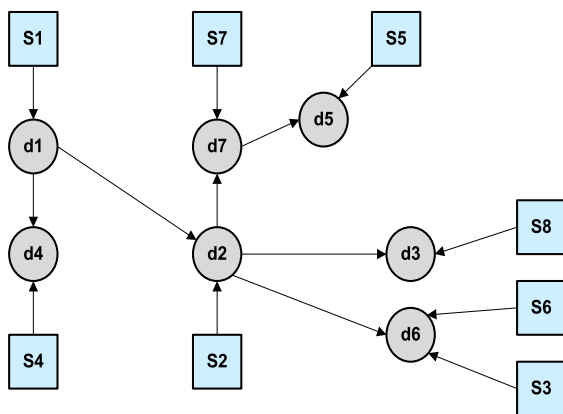


Фиг. 1. Основни задачи на система за диагностика

Аналитични модели - Те се основават на алгебрични или диференциални уравнения, отразяващи релации между входно – изходните величини или изходните характеристики на обектите. Прилагат се при аналитични зависимости с неголяма сложност. Имат голямо приложение при електрическите машини.

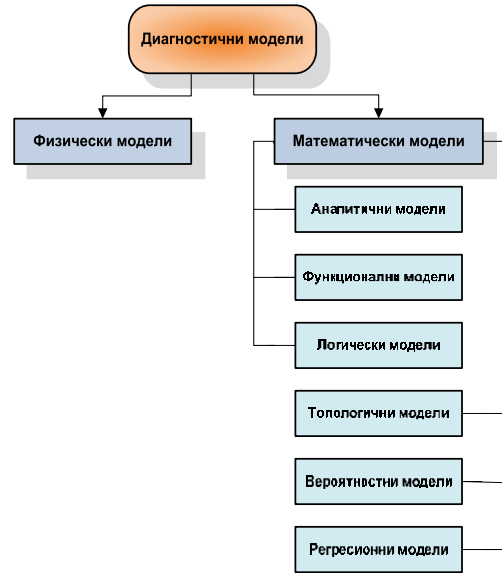
Функционални модели - Основават се на функционални зависимости между елементите на обекта и свеждат задачата на диагностиката до задача за контрол на състоянието на отделните елементи. Обектът може да се представи като функционална блок-схема. Тези модели са удобни при сложни обекти, т.к. позволяват локализиране на неизправностите чрез разбиване на множество технически състояния на краен брой подмножества и чрез последователно „изключване” да се тестват на отделните елементи на обекта.

Логически модели - Обектът се задава с функционалната си схема или с обобщен модел, като на входните и изходните параметри се присвояват само дискретни стойности – 1 или 0, да – не, има – няма и т.н. Тези модели се основават на причинно- следствената връзка между два или повече параметъра. Тогава входно-изходните връзки се разглеждат като логически функции и се прилага математическа логика. Счита се, че



Фиг. 3. Граф на топологичен модел

Тъй като същността на диагностиката е оценка и прогноза на техническото състояние по резултати от преки или косвени измервания на параметрите на състоянието (диагностични параметри), е необходимо да са известни еталонни стойности на тези параметри.



Фиг. 2. Класификация на диагностичните модели

този модел е най-близко до субективната (човешката) диагностика и се основава на натрупания опит. Тези модели позволяват бързо установяване и локализиране на неизправностите.

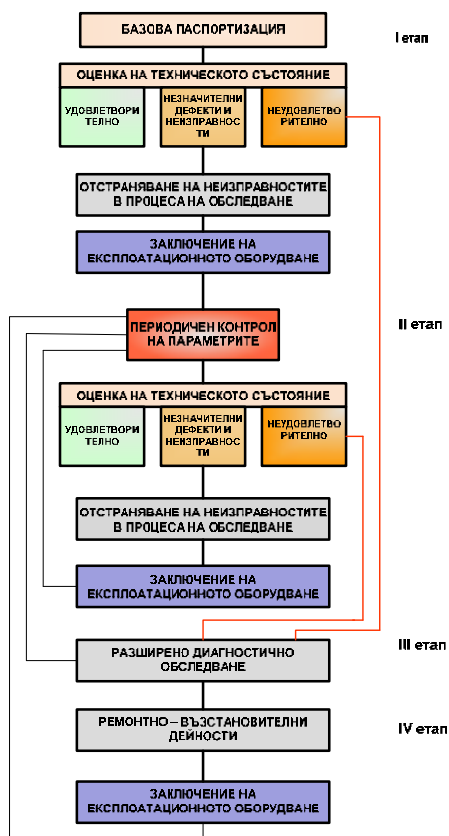
Топологични (структурно - следствени) модели – Топологичният модел е разновидност на логическия и предполага добра познаване на функционалните свойства на обекта, т.е. как един параметър или елемент влияе на друг. Топологичните модели се представят с насочени граф-модели, фиг. 3. Върховете s_i представляват съответните свойства или състояния на елементите, а свързващите ги дъги d_i – причинно – следствените връзки между тях (от типа „ако x_i то y_i ”). Топологичните модели са особено подходящи, защото позволяват компютъризиране на методите за вземане на диагностични решения и ускоряване и повишаване на точността на диагнозата.

Вероятностни модели - За изграждането на тези модели са необходими значителни статистически Изследванията върху поведението на диагностицирания обект, позволяват да се определят вероятностните му характеристики, т.е. определя се интензивността на различните видове неизправности и повреди. При настъпване на повреда системата се насочва към елемента с най-голяма вероятност за отказ.

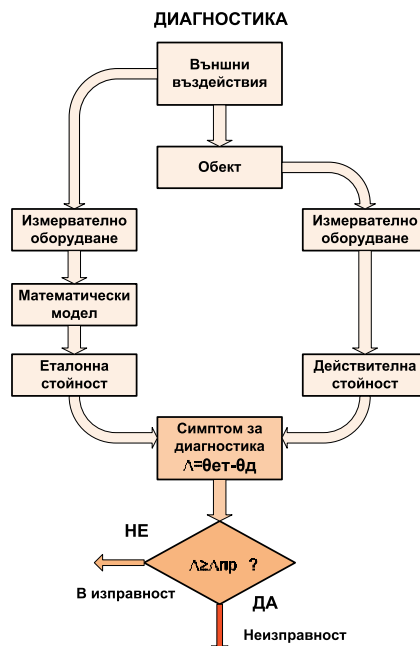
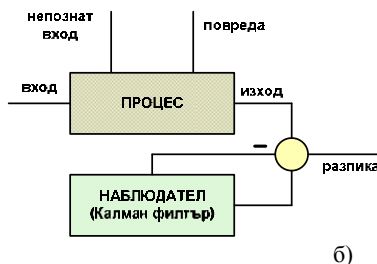
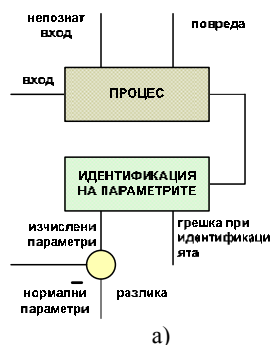
Регресионни модели - Регресионният модел описва поведението на диагностицирания обект във времето. Проследява се развитието на неизправностите в минал момент и в настоящ момент, т.е. може да се установи какво е било техническото състояние на обекта преди момента на повредата или да се прогнозира какво се очаква да бъде след известно време, т.е. кога ще се появи повредата. Това позволява чрез екстраполация да се прогнозира отказите и да се определи ресурсът (остатъчната) на работоспособността на отделния елемент.

Разликата между фактическата стойност θ_{Φ} и еталонната стойност θ_E на диагностицираните параметри, се нарича диагностичен симптом Δ или: $\Delta = \theta_{\Phi} - \theta_E$. По такъв начин оценката на техническото състояние на обекта се определя чрез отклонението на фактическата

стойност на неговите диагностични параметри от еталонните им стойности. Всяка система за диагностика (СД) работи на принципа на отклонението. Степента на достоверност и качествата на диагнозата се оценяват с големината на диагностичния симптом. В [2] се препоръчва функционалната схема на СД да изглежда, както е представена на фиг. 5. Диагнозата се формира след сравняване на симптома за диагностика с негова прагова стойност $\Delta_{лр}$. Системите за диагностика могат да бъдат проектирани както за самостоятелна работа, така и съвместно със системата за контрол и мониторинг. Основните етапи при функционирането на всяка СД се свеждат до четири, фиг. 6: 1 - сравняване на наблюдаваните параметри и величини (т.нар. базова паспортизация), което е основание за оценка на техническото състояние; 2 – периодичен контрол на параметрите за оценка на текущо оперативно и техническо състояние; 3 – разширено диагностично обследване; 4 – ремонтно-възстановителни дейности.



Фиг. 5. Общ вид на функционална схема на система за диагностика.

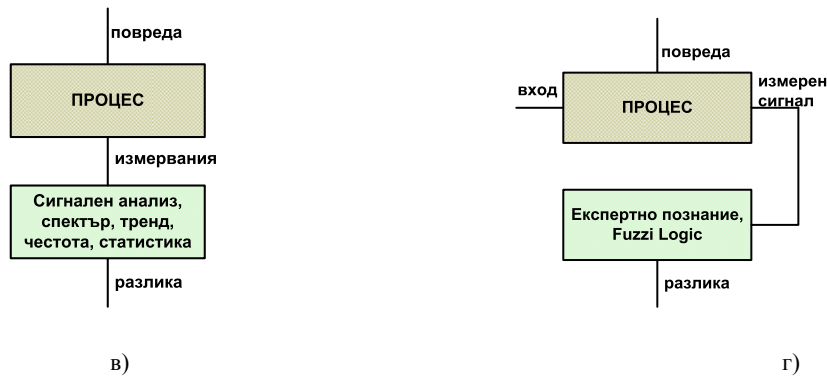


Фиг. 6. Основни етапи от функционирането на система за диагностика.

ТЕХНИКИ ЗА ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ПОВРЕДИТЕ

Съвременните СД се характеризират с голямо многообразие по отношение на техническите средства за измерване, обработка на сигналите и методите (правилата) за вземане на решение да диагностичната задача. В зависимост от степента на автоматизация, те биват експертни СД и автоматизирани СД. В първия случай решение за техническото състояние на обекта се взема от човек (експерт), а във втория – най-често от компютърна програма. Най-често използваният метод за анализ е спектралният анализ, особено за механични и електрически дефекти на генератори.

Съществуват няколко вида техники за идентификация на повредите и те са представени на фиг. 7.



Фиг. 7. Техники за идентификация на повреди

Модел, базиран на системна идентификация

Това е модел, базиран на техники за системна идентификация, се представя на фиг. 7а). Провеждат се и се следят измервания на входа и на изхода, след което се сравняват с еталонни стойности. Разликата е индикатор за повреда или грешен сигнал. Развиващите се като допълнителен процес повреди, в т.ч. и повредата на сензори и други измервателни устройства, се считат за непозната входна величина. Методът е свързан с определяне (оценка) на параметрите и е широко приложен в системите за контрол чрез т.нар. адаптивни контролери. Напоследък се прилагат успешно за откриване на повреди, където е достатъчно прилагането на линеен модел.

Модел, базиран на наблюдения

Моделът е базиран на мониторинг на текущото състояние и съпоставка с резултатите от прилагане на филтър на Калман, [3], [4], [5]. Разликата е в наблюдаваната грешка, изчислена от измервания в оперативен режим и изхода в препоръчан модел, фиг. 7б). При големи динамични изменения и външни структурни смущения, моделът с наблюдаването на грешката може да се създаде с по-ниска чувствителност. Един такъв прецизен модел за най-важните динамични процеси се препоръчва и прилагането му се счита за иновативно, но поради голямата му сложност, засега успешно е прилаган в СД само за индустриални процеси.

Модел, базиран на сигнален анализ

Това е метод за откриване на повреди чрез анализ на сигнали, описани във времева и честотна област, без категоричен математичен модел за текущо наблюдение, фиг. 7в). Тук индикаторите за повреда се получават от измервания по време на работа, като се проверява дали влизат в определени граници и какъв е трендът

на тяхното изменение. Използват се няколко техники за спектрален анализ, [6], [7], [8]. Особено се прилага при въртящи се машини за прецизна диагностика и оценка на оставащия работен ресурс. Счита се, че в случаите на внезапни промени методите, използващи спектрален анализ не са толкова бързи, колкото моделите, базирани на системна идентификация. Въпреки това те успешно се враждат в комплексни системи, т.к. не се изисква познаване на характера на входния сигнал.

Експертни системи, базирани на изкуствен интелект.

Този модел на система за диагностика се прилага за сложни процеси, които трудно се моделират аналитично. Експертното познаване на процеса се използва за изчисляване на връзката между измерените сигнали и текущото оперативно състояние, фиг. 7г). Също така може да се използват техники размита логика (fuzzy logic). СД, базирани на експертно познаване са твърде широко приложени, докато СД, базирани на размита логика все още се изследват.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При избора на модел на СД, съчетан с подходящи алгоритъм на работа и техники за идентификация, оценяваме тяхната простота, надеждност, ефективност, възможност за бърз и прецизен отговор. При съвременните СД за иновативен подход се счита съчетаването на два алгоритъма за работа, единия от които е базиран на изкуствен интелект. Целта е създаването на интелигентна СД, която реагира на повредите с реконфигурация на системата/подсистемата с оглед оставането в оперативен режим до изготвяне на стратегия за поддръжка. Главните нива на такава СД отговарят на основните подсистеми на вятърната турбина: ротор и перки, задвижване (нискоскоростен вал, предавателна кутия, високоскоростен вал, механична спирачка, съединител), система за ориентиране на гондолата, управление, електрическа система (трансформатор, пусково-защитна апаратура, кабели, силова електроника).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Божилков Г. *Записки по техническа диагностика на електрически машини*, изд. ВМЕИ „Ленин”, София, 1989.

[2] Шибаев Д.Е., А.Е.Шибаев, О.Рапопорм, А.Цукублин. *Система диагностирования крупных машин постоянно*

- тока. сп. "Известия Вузов. Электромеханика", № 6 /2009, стр. 11-13.
- [3] Балакришнан А.В. *Теория фильтрации Калмана*, изд. "Мир", Москва, 1988.
- [4] Гамм А.З., А.М.Глазунова, Ю.А.Гришин, В.Г.Кубрацкий, Д.Н.Сидеров, В.А.Спиряев, Н.В.Томин. *Методы прогнозирования параметров режима электроэнергетических систем для целей мониторинга и управления*. сп. "Электричество", № 5/2011.
- [5] Глазырин А.С., С.В.Ланграф. *Идентификация скорости и момента асинхронного двигателя с применением фильтра Калмана*. сп. "Электричество", № 12/2009.
- [6] Петухов В., В.Соколов. *Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока. Часть II*, сп. "Новости Электротехники", № 31/2005, стр. 50-52.
- [7] Кузьмин Е.А. *Диагностика повреждений ротора асинхронного двигателя, методом спектрального анализа тока статора*, автореферат, Томский политехнический университет, 2008.
- [8] Ясинский А.В. *Усовершенствование функциональной диагностики асинхронных электродвигателей на основе контроля параметров рабочего режима*. Реферат, Донецкий НТУ, 2012.