Исходные документы:

[*[Спецификация][2] Дефекты*](https://docs.google.com/document/d/14hIx7VFSZUQu5KH6Z4ucgwNGokVyTd5lvolmEH7-Ggw/edit)

Описание функций расчёта вероятности дефектов синхронных и асинхронных моторов

Данный документ частично описывает алгоритмы расчёта вероятностей дефектов синхронных и асинхронных моторов. Целью создания данного документа является описание констант, использующихся в алгоритмах, влияющих на итоговую вероятность определения дефектов.

Суть определения вероятности дефекта состоит в нахождении валидных (требуемых) отсчётов в структурах (массивах данных), поступающих на вход каждой функции определения дефекта элемента, и математических операциях с весовыми коэффициентами каждого такого отсчёта.

Каждая структура, основанная на своей частоте и указанная через тег дефекта, состоит из следующих векторов, для расчёта которых имеются специальные функции:

* position – вектор, взятый из файла *informativeTags.xml*, показывающий номера гармоник, участвующих в анализе дефекта.
* magnitude – вектор, показывающий амплитуды каждой гармоники, частота которых получена поэлементным произведением вектора position с основной частотой структуры.
* logProminence – вектор значений логарифмической выраженности амплитуды каждой гармоники над уровнем шума.
* weights – вектор весовых коэффициентов (значимости каждой гармоники на дефект), взятый из файла *informativeTags.xml*.

Перед непосредственным описанием алгоритмов указываются теги частот и параметры, использующиеся в алгоритме.

В документе используются следующие сокращения и обозначения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| shaftFreq | – | частота вращения вала; |
| TLF | – | удвоенная линейная частота сети питания (twiceLineFreq); |
| barFreq | – | зубцовая частота асинхронного двигателя; |
| coilFreq | – | пазовая частота синхронного двигателя; |
| polePassFreq | – | частота, основанная на числе пар полюсов ротора; частота прохождения полюсов |
| shaftFreqTag,  TLFTag | – | идентификаторы (теги) частот. Указывают, на основе какой частоты будут рассчитываться структуры для расчёта вероятности дефекта; |
| modTag, mainModTag, addModTag | – | идентификаторы модуляции. В квадратных скобках указываются частоты, использующиеся для расчёта, например, [shaftFreq ± polePassFreq]; |
| shaftFreqStucture | – | структура, основанная на частоте вращения вала; |
| TLFStucture | – | структура, основанная удвоенной линейной частоте сети питания; |
| modStucture, mainModStructure,  addModStructure | – | структуры, основанные на модуляции частот; |
| modEstimations | – | оценка модуляции. Параметр, показывающий наличие либо отсутствие модуляционных компонент относительно основной частоты модуляции. |
| logProminenceThreshold | – | порог логарифмической выраженности. На сколько собственных уровень логарифмической выраженности отсчёта в структуре должен превышать уровень шума, чтобы отсчёт стал валидным; |
| acceleration spectrum | – | спектр виброускорения сигнала (вектор); |
|  |  |  |

Таблица 1 – Перечень классов элементов и связанных дефектов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | **Дефекты элементов**  **(XML теги)** | **Классы элементов**  *(@elementClass)* | **Название дефекта**  **[en]** | **Название дефекта**  **[ru]** |
| 1 | ***STATIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP*** | ***inductionMotor*** | Static eccentricity of the air gap | Статический эксцентриситет воздушного зазора |
| 2 | ***DYNAMIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP*** | ***inductionMotor*** | Dynamic eccentricity of the air gap | Динамический эксцентриситет воздушного зазора |
| 3 | ***CRACKED\_BROKEN\_ROTOR\_BARS*** | ***inductionMotor*** | Rotor defect: cracked or broken rotor bars | Дефект ротора: трещины или обрывы стержней беличьего колеса |
| 4 | ***LOOSE\_ROTOR\_BARS*** | ***inductionMotor*** | Rotor defect: loose rotor bars | Дефекты ротора: ослабление креплений стержней беличьего колеса |
| 5 | ***DEFECT\_STATOR\_WINDINGS*** | ***inductionMotor*** | Defect of stator windings | Дефект обмоток статора |
| 6 | ***NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE*** | ***inductionMotor*** | Non-linear distortion of supply voltage | Нелинейные искажения напряжения питания |
| 7 | ***ROTOR\_ECCENTRICITY*** | ***inductionMotor*** | Rotor Eccentricity | Эксцентриситет ротора |
| 8 | ***ECCENTRICITY\_AIR\_GAP*** | ***synchronousMotor*** | Eccentricity of the air gap | Эксцентриситет воздушного зазора |
| 9 | ***DEFECT\_STATOR\_WINDINGS*** | ***synchronousMotor*** | Defect of stator windings | Дефект обмоток статора |
| 10 | ***NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE*** | ***synchronousMotor*** | Non-linear distortion of supply voltage | Нелинейные искажения напряжения питания |
| 11 | ***DEFECTS\_EXCITATION\_SYSTEM*** | ***synchronousMotor*** | Defects of the excitation system | Дефекты системы возбуждения |

1. ***STATIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP* – Статический эксцентриситет воздушного зазора**

Функция **inductionMotor\_STATIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag, shaftFreqTag*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *TLFStructure* с основной частотой *TLF*:
   1. Определить обязательное наличие первого валидного отсчёта в *TLFStructure*:
      1. Первый отсчёт в *TLFStructure* является валидным, если является максимальным по амплитуде.
      2. Если первый отсчёт не является валидным – итоговая вероятность по данному спектру равна 0 **[конец алгоритма]**.
   2. Каждый последующий отсчёт в *TLFStructure* сравнивается с предыдущими и будет являться валидным, если он:
      1. Меньше **100%** уровня амплитуды всех предыдущих валидных.
      2. Больше **25%** уровня амплитуды хотя бы одного предыдущего валидного.
   3. Все валидные отсчёты, не прошедшие неравенство, отфильтровываются:

*logProminence* > *logProminenceThreshold.*

* 1. Вероятность дефекта по признаку *TLF* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *shaftFreqStructure* с основной частотой *shaftFreq*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *shaftFreqStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *shaftFreq* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **100%** от вероятности по признаку *TLF* и **20%** от вероятности по признаку *shaftFreq*.
2. ***DYNAMIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP* – Динамический эксцентриситет воздушного зазора**

Функция **inductionMotor\_DYNAMIC\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *shaftFreqTag, modTag = [barFreq ± shaftFreq]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *modStructure* с основной модуляцией *[k1·barFreq ± k2·shaftFreq]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *modStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *[barFreq ± shaftFreq]* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *shaftFreqStructure* с основной частотой *shaftFreq*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *shaftFreqStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *shaftFreq* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **100%** от вероятности по признаку *[barFreq ± shaftFreq]* и **10%** от вероятности по признаку *shaftFreq*.
2. ***CRACKED\_BROKEN\_ROTOR\_BARS* – Дефект ротора: трещины или обрывы стержней беличьего колеса**

Функция **inductionMotor\_CRACKED\_BROKEN\_ROTOR\_BARS.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *modTag = [shaftFreq ± polePassFreq]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Определить обязательное наличие первого валидного отсчёта частоты *shaftFreq* в *modStructure* с основной модуляцией *[k1·shaftFreq ± k2·polePassFreq]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Первый отсчёт частоты *shaftFreq* в *modStructure* является валидным, если является максимальным по амплитуде.
   2. Если первый отсчёт не является валидным – итоговая вероятность по данному спектру равна 0 **[конец алгоритма]**.
2. Каждый последующий отсчёт частоты *shaftFreq* в *modStructure* сравнивается с предыдущими и будет являться валидным, если он:
   1. Меньше **100%** уровня амплитуды всех предыдущих валидных.
   2. Больше **25%** уровня амплитуды хотя бы одного предыдущего валидного.
3. Все валидные отсчёты, не прошедшие неравенство, отфильтровываются:

*logProminence* > *logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.
2. ***LOOSE\_ROTOR\_BARS* – Дефекты ротора: ослабление креплений стержней беличьего колеса**

Функция **inductionMotor\_LOOSE\_ROTOR\_BARS.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *modTag = [barFreq ± TLF]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Определить наличие валидных отсчётов в *modStructure* с основной модуляцией *[k1·barFreq ± k2·TLF]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.
2. Если первый отсчёт частоты *barFreq* в *modStructure* больше по амплитуде второго отсчёта частоты *barFreq* в *modStructure*, то к частной вероятности дефекта по данному спектру прибавляется коэффициент **0.2**.
3. ***DEFECT\_STATOR\_WINDINGS* – Дефект обмоток статора**

Функция **inductionMotor\_DEFECT\_STATOR\_WINDINGS.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag, modTag = [barFreq ± TLF]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *modStructure* с основной модуляцией *[k1·barFreq ± k2·TLF]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *modStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *[barFreq ± TLF]* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *TLFStructure* с основной частотой *TLF*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *TLFStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *TLF* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **100%** от вероятности по признаку *[barFreq ± TLF]* и **20%** от вероятности по признаку *TLF*.
2. ***NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE* – Нелинейные искажения напряжения питания**

Функция **inductionMotor\_NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Определить обязательное наличие первого валидного отсчёта в *TLFStructure*:
   1. Первый отсчёт в *TLFStructure* является валидным, если является максимальным по амплитуде.
   2. Если первый отсчёт не является валидным – итоговая вероятность по данному спектру равна 0 **[конец алгоритма]**.
2. Каждый последующий отсчёт в *TLFStructure* сравнивается с предыдущими и будет являться валидным, если он:
   1. Меньше **100%** уровня амплитуды всех предыдущих валидных.
   2. Больше **25%** уровня амплитуды хотя бы одного предыдущего валидного.
3. Все валидные отсчёты, не прошедшие неравенство, отфильтровываются:

*logProminence* > *logProminenceThreshold.*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.
2. ***ROTOR\_ECCENTRICITY* –** **Эксцентриситет ротора**

Функция **rollingBearing\_GROOVES\_CRACKS\_OUTER\_RING.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *mainModTag = [TLF ± polePassFreq], addModTag = [shaftFreq ± polePassFreq]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *mainModStructure* с основной модуляцией *[k1·TLF ± k2·polePassFreq]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *mainModStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *[TLF ± polePassFreq]* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *addModStructure* с основной модуляцией *[k1·shaftFreq ± k2·polePassFreq]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *addModStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *[shaftFreq ± polePassFreq]* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **80%** от вероятности по признаку *[barFreq ± TLF]* и **20%** от вероятности по признаку *[shaftFreq ± polePassFreq]*.
2. ***ECCENTRICITY\_AIR\_GAP* –** **Эксцентриситет воздушного зазора**

Функция **synchronousMotor\_ECCENTRICITY\_AIR\_GAP.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag, shaftFreqTag*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *TLFStructure* с основной частотой *TLF*:
   1. Определить обязательное наличие первого валидного отсчёта в *TLFStructure*:
      1. Первый отсчёт в *TLFStructure* является валидным, если является максимальным по амплитуде.
      2. Если первый отсчёт не является валидным – итоговая вероятность по данному спектру равна 0 **[конец алгоритма]**.
   2. Каждый последующий отсчёт в *TLFStructure* сравнивается с предыдущими и будет являться валидным, если он:
      1. Меньше **100%** уровня амплитуды всех предыдущих валидных.
      2. Больше **25%** уровня амплитуды хотя бы одного предыдущего валидного.
   3. Все валидные отсчёты, не прошедшие неравенство, отфильтровываются:

*logProminence* > *logProminenceThreshold.*

* 1. Вероятность дефекта по признаку *TLF* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *shaftFreqStructure* с основной частотой *shaftFreq*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *shaftFreqStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *shaftFreq* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **100%** от вероятности по признаку *TLF* и **20%** от вероятности по признаку *shaftFreq*.
2. ***DEFECT\_STATOR\_WINDINGS* –** **Дефект обмоток статора**

Функция **synchronousMotor\_DEFECT\_STATOR\_WINDINGS.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag, modTag = [coilFreq ± TLF]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Для структуры *modStructure* с основной модуляцией *[k1·coilFreq ± k2·TLF]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *modStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *[coilFreq ± TLF]* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.

1. Для структуры *TLFStructure* с основной частотой *TLF*:
   1. Определить наличие валидных отсчётов в *TLFStructure*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold*.

* 1. Вероятность дефекта по признаку *TLF* равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме от **100%** от вероятности по признаку *[coilFreq ± TLF]* и **20%** от вероятности по признаку *TLF*.
2. ***NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE* –** **Нелинейные искажения напряжения питания**

Функция **synchronousMotor\_NON\_LINEAR\_DISTORTION\_SUPPLY\_VOLTAGE.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *TLFTag*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Определить обязательное наличие первого валидного отсчёта в *TLFStructure*:
   1. Первый отсчёт в *TLFStructure* является валидным, если является максимальным по амплитуде.
   2. Если первый отсчёт не является валидным – итоговая вероятность по данному спектру равна 0 **[конец алгоритма]**.
2. Каждый последующий отсчёт в *TLFStructure* сравнивается с предыдущими и будет являться валидным, если он:
   1. Меньше **100%** уровня амплитуды всех предыдущих валидных.
   2. Больше **25%** уровня амплитуды хотя бы одного предыдущего валидного.
3. Все валидные отсчёты, не прошедшие неравенство, отфильтровываются:

*logProminence* > *logProminenceThreshold.*

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.
2. ***DEFECTS\_EXCITATION\_SYSTEM* –** **Дефекты системы возбуждения**

Функция **synchronousMotor\_DEFECTS\_EXCITATION\_SYSTEM.m**:

Теги частот для валидации дефекта: *modTag = [coilFreq ± shaftFreq]*.

Параметры: *logProminenceThreshold = 3*.

Для определения общей вероятности дефекта требуется определить частные вероятности в следующих спектрах, для чего:

**В acceleration spectrum:**

1. Определить наличие валидных отсчётов в *modStructure* с основной модуляцией *[k1·coilFreq ± k2·shaftFreq]*, где *k1* и *k2* – значения вектора *position*, у которых

*logProminence > logProminenceThreshold,*

*modEstimation = 1*.

1. Частная вероятность дефекта по данному спектру равна сумме весовых коэффициентов валидных отсчётов, взятых из *weights*.