

СОФТУЕРНА СИМУЛАЦИЯ НА НАЛИЧИЕТО НА МЕХАНИЧЕН ДЕБАЛАНС В ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ С АСИНХРОННИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Юлиян Йорданов

Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане”

SOFTWARE SIMULATION OF THE PRESENCE OF MECHANICAL UNBALANCE IN ELECTRICAL EQUIPMENT WITH ASYNCHRONOUS MOTORS

Yuliyana Yordanov

Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment

Abstract

The objectives of the study are modeling, simulation and analysis of the impact of mechanical unbalance in industrial units with asynchronous motors. The report examines the possibilities for identifying this fault in the stator current spectrum using the capabilities of the MATLAB software environment. In this simulation, the effects of a load whose moment of inertia instantaneously varies depending on the angle of rotation are demonstrated.

Keywords: maintenance of electric motors, diagnosis of induction motors, MCSA.

ВЪВЕДЕНИЕ

Софтуерният пакет MATLAB, чрез своята програма за симулация на динамични системи SIMULINK, създава възможности за ефективно моделиране и симулиране на сложни процеси. В настоящия доклад е представена софтуерна симулация на наличието на дебаланс и диагностицирането му в електрообзавеждане с асинхронни двигатели, чрез спектрален анализ на статорния ток (MCSA).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследването на електродвигатели с различни номинални данни, значително се улеснява при наличието на достоверен модел за симулация на дефекти във всички работни режими. Разработването на различни сценарии за конкретни машини спомага за правилното диагностициране на реалния обект. Спектралния анализ на статорния ток (MCSA) е добре познат и доказан в практиката метод за диагностика на

асинхронни електродвигатели (АД). В множество изследвания авторите в [1], [3], [5], [6] са предложили основните способи за откриване признаците на дебаланс чрез MCSA. Представения модел използва една от формулировките дадени в стандарт за ISO 20958 [3] за установяване на дебаланс и други механични дефекти водещи до промяна във въздушната междина на АД. Честотните компоненти, които определят наличието на дебаланс [3] могат да бъдат изчислени чрез Формула 1.

$$f_{e1,2} = f_1 \pm m \cdot f_r \text{ [Hz]} \quad (1)$$

където: f_1 – честота на захранващата мрежа [Hz]; f_r – честота на въртене на ротора [Hz]; m – 1, 3, 5...; f_e – честотни компоненти, дължащи се на промените във въздушната междина.

Причината за използването на този подход е възможността в тесен честотен диапазон да се установи с голяма точност изме-

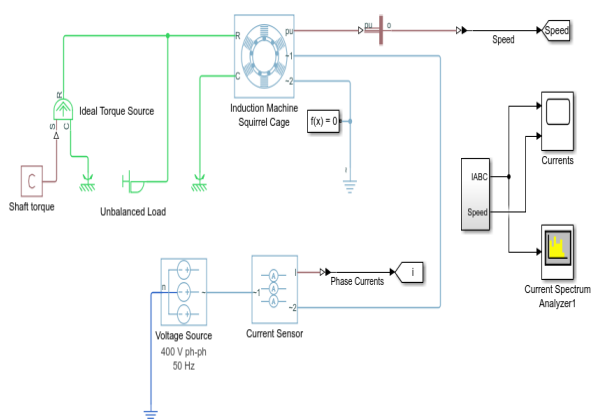
неието в състоянието на АД или целия агрегат.

СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ

Блокова схема на симулационния модел за диагностициране на дебаланс в АД, чрез MCSA използвайки софтуерния пакет MATLAB SIMULINK [7], [8], [9] е представена на фиг.1.

Основни възли в дадения модел са;

- Трифазна захранваща система с възможност за промяна на параметрите, както на захранващото напрежение и честотата, така и на захранващите линии;
- Измервателни токови датчици;
- Тахометър за измерване на скоростта и съответно изчисляване на хлъзгането на АД;
- Модел на асинхронен двигател с кафезен ротор;
- Блок симулиращ натоварването на вала на електродвигателя с идеално балансиран и постоянен във времето товар с възможност за промяна в целия работен диапазон;
- Имитационен модел на внесения дебаланс, позволяващ промяна на масата предизвикваща дебаланс, както и нейното разположение в радиално направление.



Фиг. 1. Блокова схема на симулационен модел

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АД С ДЕБАЛАНС

В модела са зададени параметрите на асинхронен двигател с кафезен ротор свързване в звезда с номинална мощност $P_n=2,2$ [kW]; номинално напрежение $U_n=400$ [V]; брой полюси = $2p$. Таблица 1 представя из-

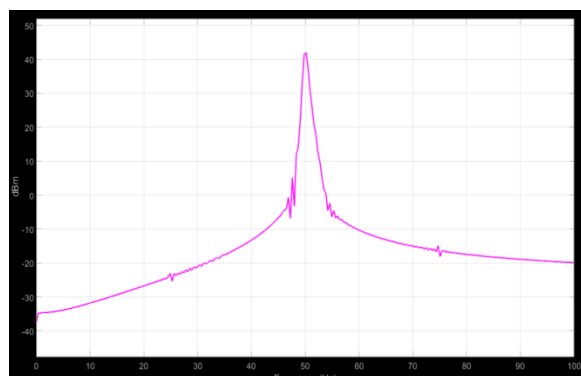
числените съгласно формула 1 теоретични честотни компоненти характерни при наличието на дебаланс. Зададено е хлъзгане $s=0.016$.

Таблица 1 Характерни честоти при празен ход

f1 [Hz]	режим	n [rpm]	fr [Hz]	fe1, m=1 [Hz]	fe2, m=1 [Hz]
50	Празен ход	1475	24.6	74.6	25.4

Голямото предимство при изследването на модела е възможността да бъдат получени резултати с различни добавъчни маси поставени на определени места без това да уврежда реалната машина. Избягват се многократните пускове, допълнителни смущения, монтаж и демонтаж на детайли съпроводени със съответните грешки и вероятни повреди. Разглеждането на повече сценарии помага по-добре да се анализират дефекти при реални измервания. Друга цел на изследването е да покаже, че наличието на дебаланс може да бъде установено, чрез MCSA при различни натоварвания. В отличие от други дефекти, този може да бъде регистриран и в режим на празен ход. Спектъра на статорния ток на фигура 2 е симулация без натоварване и без добавена допълнителна тежест на ротора. Минималните пикове, които се наблюдават се дължат остатъчен дебаланс.

В симулацията от фиг. 2 умишлено е заложен остатъчен дебаланс от 2 грама на радиус 50 [мм], който съществува и при реалните машини, и може да бъде определен от препоръките на стандарт ISO 21940 [4].



Фиг. 2. Спектър на статорния ток на АД без допълнителен дебаланс на празен ход

Съществуват няколко класа на точност за балансиране различните машини и приложения определени в стандарта, които нормират допустимия остатъчен дебаланс, но те не са обект на това проучване.

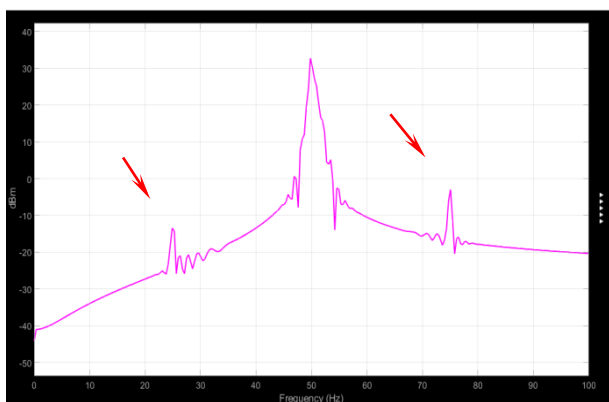
Резултатите представени на фигура 3 съществено се различават с предходните при еднакви параметри на товара и на захранването на АД. Внесения дебаланс е минимален 10 грама на радиус 50 [мм], но е достатъчен в спектъра отчетливо да се открояват характерните за този дефект честотни компоненти, разположени от двете страни на честотата на захранването $f=50$ [Hz]. На фиг.4 специфичните честоти са се увеличили спрямо опита с 10 гр. средно с около 5 dB, след като е добавена тежест от 20 гр. на същата позиция при равни други условия.

Втория етап от проведените изследвания се състои в симулация при същите добавени тежести и място на поставянето им, но при наличие на товар на АД. При увеличаване на натоварване, както и на хлъзгането $s=0.026$ s са изчислени следните стойности за специфичните честоти (табл.2).

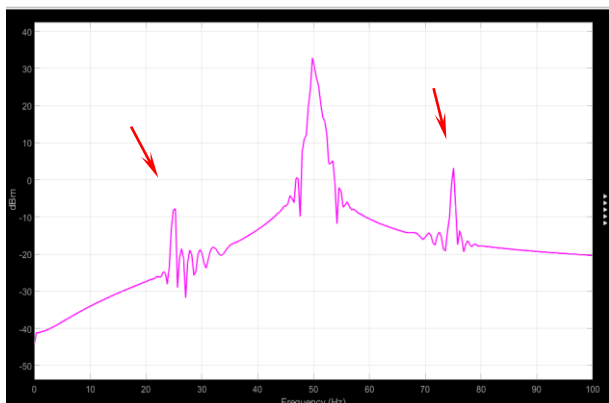
Таблица 2 Характерни честоти под товар

f1 [Hz]	режим	n [rpm]	Fr [Hz]	fe1, m=1 [Hz]	fe2 m=1 [Hz]
50	Под товар	1460	24.3	74.3	25.6

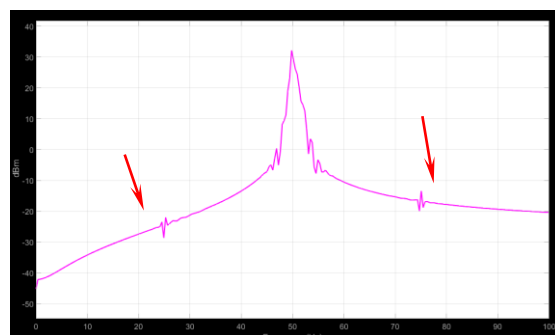
Очевидно е, че в различните режими на работа спектрите на фиг. 5, фиг. 6 и фиг. 7 са идентични относно признаците на дебаланс. Наличието на идеален товар и идеални други условия, като захранваща система, захранващи линии, и измервателна система са естествената причината в спектъра да няма много други смущения.



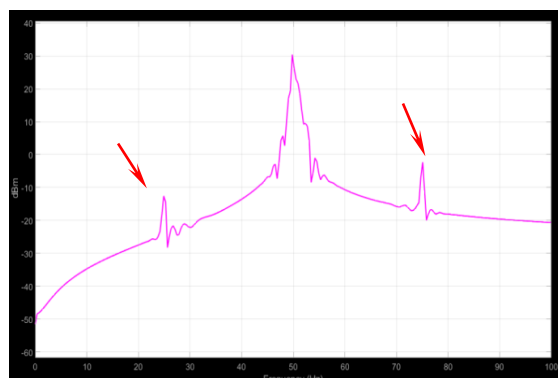
Фиг. 3. Спектър на статорния ток на АД с добавена тежест от 10 грама на празен ход.



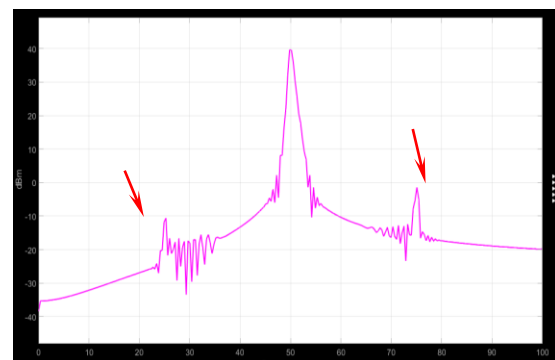
Фиг. 4. Спектър на статорния ток на АД с добавена тежест от 20 грама на празен ход.



Фиг. 5. Спектър на статорния ток на АД без добавена тежест под товар



Фиг. 6. Спектър на статорния ток на АД с добавена допълнителна тежест 10 гр. под товар.



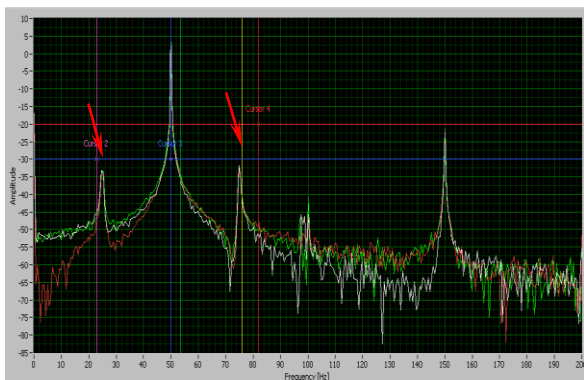
Фиг. 7. Спектър на статорния ток на АД с добавена допълнителна тежест 20 гр. под товар.

Въпреки това на фигури 3,4,6 и 7 се забелязват интересни промени около изчислените честоти.

С цел да има обективна база за сравнение на фигура 8 е показан спектър на реален бездефектен АД с идентични номинални данни с този, който е използван в симулационния модел. Изследвания електродвигател е изпитан на специализиран стенд в различни режими и с различни пробни тежести. Конкретния спектър е на празен ход с добавена тежест от 30 гр. на радиус 70 [мм], прикрепена за ремъчната шайба, която е монтирана на вала на АД и е предварително балансирана. Добре видими са характерните спектралните компоненти около $f=25$ [Hz] и $f=75$ [Hz] разположени симетрично около честотата на захранване $f=50$ [Hz]. Видимо е влиянието на захранващата мрежа и несъвършенства в други звена на стенда и конструкцията на АД. В таблица 3 са дадени за сравнение изчислените честоти от проведеното реално изследване.

Таблица 3 Характерни честоти

f1 [Hz]	режим	fr [Hz]	fe1 m=1 [Hz]	fe2 m=1 [Hz]
50	Празен ход	24.97	74.9	25.3



Фиг. 8. Реален спектър на статорния ток на АД на празен ход с добавена допълнителна тежест 30 гр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на симулационния модел може да бъде полезно в диагностицирането на електрообзавеждане без наличието на предходни измервания. Моделът може да получи приложение в практиката за сравнителен анализ при диагностика с MCSA на слабо познати и неизследвани агрегати.

Модулът имитиращ дебаланс позволява въвеждането на дебаланс на различни радиуси и ъгли. Използвайки тези възможности могат да бъдат направени достоверни симулации на наличието на дебаланс на осевентилятори, работни колела на помпи и съединители закрепени на вала на АД и в режим на празен ход.

Интерес за бъдещи проувания представлява съвместното използване на симулационния модел с реално снети данни. На база снетото изменение на пиковете от реално работеща машина е възможно обратното определяне на големината на действащата сила предизвикваща дебаланс и нейният характер. По този начин е възможно да се получи количествена оценка между качествен показател (хармоничен състав) във формата на тока и степен на амортизация на съоръжението и определяне на необходимостта и спешността от извършване да ремонт.

REFERENCES

- [1] Barkov, A., N. Barkova, A. Borisov, V. Fedoristev, D. Gristenko, Methods for diagnostics of mechanisms with electric drive by consumed current-RU, ISBN 978-5-91498-028-2012.
- [2] Howard W. Penrose Practical Motor Current Signature Practical Motor Current Signature Analysis, ALL-TEST Pro
- [3] ISO 20958:2013- Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Electrical signature analysis of three-phase induction motors.
- [4] ISO 21940-31: 2013, Mechanical vibration - rotor balancing - part 31: susceptibility and sensitivity of machines to unbalance
- [5] Thomson W., Fenger M., Lloyd B., Development of a tool to detect faults in induction motors via current signature analysis, 2003 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference, Dallas, TX, 2003-05-04/09.
- [6] Thomson W., I Culbert, Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors - Industrial Application and Case Histories IEEE, 2017, ISBN: 978-1-119-02959-5
- [7] <https://www.mathworks.com/help/physmod/sdl/ref/unbalancedload.html>
- [8] https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ref/inductionmachinesquirrelcage.html?s_tid=srchtitle
- [9] https://www.mathworks.com/help/dsp/ref/spectrumalyzer.html?s_tid=srchtitle