

▪ **Zustandsabhängiges, riskobasiertes Asset-Management in der Energieversorgung**

Dipl.-Ing. Jozsef Osztermayer

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Feser
1. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. G. Balzer, TU Darmstadt
2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen
Tag der mündlichen Prüfung: 05.02.2007

Für die vorliegende Arbeit versteht man unter Risikobasiertem und Funktionsübergreifendem Asset-Management (RB&FÜAM) die risikobewusste Verwaltung von technischen Anlagen während ihrer gesamten Lebensdauer. Die konkrete Aufgabe ist dabei, die betriebsmittelrelevanten Aktivitäten zeitlich und inhaltlich funktionsübergreifend so zu koordinieren, dass die strategischen Unternehmensziele bei minimalen Anlagenkosten erreicht werden können. In der Tat geht es um die optimale Geldmittelallokation unter den Kernprozessen des Unternehmens, welche die Vernetzung von aktuellen risikorelevanten Informationen über das gesamte Anlagenportfolio voraussetzt.

Die wesentlichen Nachteile der traditionellen Asset-Management Ansätze lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Ursache-Wirkungskette zwischen den risikorelevanten Anlagendaten und der zugehörigen prozesscharakterisierenden Zielkennzahl (*z.B. Instandhaltungsbudget*) ist für Entscheidungsträger nicht transparent. Der Koordinationsaufwand und die Prozessdurchlaufzeit für die Entscheidungsunterstützung ist unverhältnismäßig groß.
- Die rechnergestützte Überwachung von betriebswirtschaftlichen Prozessindikatoren, die ihrerseits vom Anlagenzustand abhängig sind, ist wegen mangelnder Methodenkompetenz für die Informationsverzahnung nicht möglich.

Um diese Unzulänglichkeiten zu eliminieren, wurde der vorliegende Ansatz entwickelt. Hierbei wird der Anlagenzustand mittels Fuzzy-Logik anhand von aktuellen zustandsrelevanten Messgrößen der fehleranfälligen Anlagenkomponenten online geschätzt und die monetären Konsequenzen des Anlagenzustandes in Form eines Katalogs für Instandhaltungsszenarien formalisiert. Das von den fehlerbehafteten Anlagenkomponenten bzw. der Anlage ausgehende Risiko wird dabei durch den monetären Erwartungswert für die Durchführung eines dem aktuellen Zustand angemessenen Instandhaltungsszenarios berechnet. Als Alternative zur erwähnten Beschreibung des Risikos mit Erwartungswert kann auch die vektorbasierte Methode eingesetzt werden. In diesem Fall wird das Risiko durch die lineare Kombination des Zustandes und der Wichtigkeit der jeweiligen Betrachtungseinheit abgebildet.

Mit der Erarbeitung einer Überwachungsphilosophie wollte man ein allgemeingültiges Muster bereitstellen, das durch Zuschneiden an die jeweilige Aufgabenstellung an-

gepasst werden kann. Dieses Muster ermöglicht die Anlagenüberwachung für zwei Alterungstypen (*Natürliche Alterung und Fehlerbedingte Alterung*) in zwei Überwachungsdimensionen (*Zustandsfortschritt und Alarm*) auszuführen. Mit der Einführung des natürlichen Alterungstypus unterstützt man die lückenlose Anlagenüberwachung für den Fall, dass noch kein fehlerbedingtes Alterungsphänomen zu erkennen ist. Für Leistungstransformatoren mit einer natürlich alternden organischen Komponente wie die Öl-Papierisolierung ist diese Art der Überwachung von großer Bedeutung.

Nachdem der neue Ansatz durch die theoretische Behandlung der relevanten Basisdisziplinen fundiert wurde, wird die Anwendung der erarbeiteten Methode an zwei Fallbeispielen demonstriert. Während im Beispiel bezüglich einer Gruppe von Leistungstransformatoren die vektorbasierte Risikoanalyse eine Anwendung findet, wird das zustandsbedingte Risiko in der Analyse für ein Leistungsschalterportfolio mittels Bildung von entsprechenden Erwartungswerten abgebildet.

Gemäß den Forderungen in der Praxis wurde die verursachungsgerechte Zusammenführung der Zustandsverschlechterung von Betriebsmittelkomponenten durch einen adäquaten Algorithmus, basierend auf der Theorie der Zielkostenrechnung, gelöst. Die Berechnungsvorschrift ermöglicht den Zustandsverschlechterungsgrad jeder Komponente einer zweckmäßig aufgebauten Anlagenhierarchie zu berechnen und damit die Überwachung des Zustandsfortschrittes jeweils auf die zeitliche Verfolgung einer einzigen Zustandskennzahl zu reduzieren. Diese Möglichkeit gewinnt an Bedeutung beim Aufsteigen in der Systemhierarchie. Weil die Kennzahlabbildung durchgängig formalisiert ist, bietet der Ansatz umfassende Möglichkeiten auch für die Ursachenforschung.

Da die weiteren Algorithmen für die anlagencharakterisierenden Indikatoren wie

- Anlagenpriorität für Ersatzinvestition
- Ausfallwahrscheinlichkeit einer Betriebsmittelkomponente
- Finanzielles Risiko für Ersatz bzw. Instandhaltung
- Priorität für Instandhaltung

auf dem relevanten Wahrscheinlichkeitswert für Ersatz, Ausfall und Durchführung des aktuellen Instandhaltungsszenarios basieren, wird der Übergang vom aktuellen Zustandsverschlechterungsgrad zu den erwähnten Wahrscheinlichkeiten diskutiert.

Mit Hilfe des vorgestellten Ansatzes, dessen Umsetzung durch ein modular aufgebautes Simulink-Modell getestet wurde, kann man eine fundierte Entscheidungsunterstützung für die folgenden Kernprozesse online zur Verfügung stellen:

- Budgetierung von Instandhaltungskosten
- Budgetierung von Kosten für Ersatzinvestitionen
- Zustandsbasierte Schätzung der Restlebensdauer einer Anlage

Die nachstehenden Analysemöglichkeiten ergeben sich durch das AM-Modell:

- Kontinuierliche Risikostrukturanalyse im selektierten Anlagenportfolio
- Simulation der Auswirkungen von geplanten risikominimierenden Maßnahmen auf unterschiedlicher Ebene der Anlagenhierarchie
- Trendbasierte Prognose für die Kennzahlen anhand historischer Daten
- Komponentenbezogene Archivierung von Wissen über die noch nicht vollständig erforschten Fehlermechanismen in Form von Beurteilungsregeln

Um die Praxistauglichkeit des vorgestellten Konzeptes zu demonstrieren, wurden die wichtigsten Anlagengruppen eines jeden Energieversorgungsunternehmens (die Leistungstransformatoren und die Leistungsschalter) jeweils einer Beispielanalyse zu Grunde gelegt. In diesem praktischen Teil der Abhandlung wurde großer Wert auf die Schritt für Schritt Darstellung der Applikation der Fuzzy-Folgerungstechnik und auf die Visualisierung der Analyseergebnisse gelegt. Diese sollen die Akzeptanz des Ansatzes sowohl bei den Entscheidungsträgern als auch beim technischen Servicepersonal sicherstellen.

- **Risk Based and Cross Functional Asset-Management**
Dipl.-Ing. Jozsef Osztermayer

Despite the substantial effort made by utilities, in course of implementing the reliability centered maintenance paradigm, the goal to maximize the Return on Assets (ROA) is not yet achieved. The reasons are insufficient modelling of the equipment aging phenomena and the lack of demand oriented condition reporting to different functions in the organization. Asset management models applied until now fail to deal with the stochastic character of equipment condition development, because they neither involve the condition relevant monitoring data on online basis nor are able to process equipment related expert knowledge for condition assessment in a systematic, transparent and simple way. As a result, the process cycle time for data collection usually exceeds the developmental period of business critical failures caused by degradation of assets. The described situation is in particular crucial for management of expensive physical assets as power transformers, whose failure modes may have a development time in a range of a week or even a couple of days. If an event starts to develop it should trigger the planning of several processes (maintenance, procurement, funding etc.) in order to initiate a comprehensive optimization process on the highest system level. The overall objective of the condition based online estimation of asset related risk is the real time cost and risk control of condition sensitive core processes (e.g. maintenance, replacement, financing and depreciation), having substantial influence on the ROA and consequently on the business profitability as a whole.

The main objective of this thesis is to set up a computer based hierarchical simulation model, which is able to estimate the condition deterioration of equipment components which are prone to fail, in order to determine the system condition on its various

hierarchy level and to give proposal for key decision situations. Having assessed the condition deterioration through fuzzy-logic in percentage, then one can derive the assets depreciation in monetary terms, which provides a solid basis for predicting the maintenance and replacement budget. Forecasting the remaining life time of equipments is also supported. In financial records used for strategic planning, fixed assets are usually expressed as the cost of asset minus depreciation, this aspect underlines as well the importance of the precise condition based calculation of asset depreciation.

Accounting for depreciation of fixed assets

Depending on objectives there are two kinds of depreciation approaches regarding the fixed assets. The financial depreciation is a process of assets amortization to spread the cost of acquiring long-term assets over their estimated useful life in order to make sure the nominal maintenance of capital. It will be carried out according to financial policies regardless of the actual assets condition and it serves for assets evaluation e.g. for balance sheet. Contrary to this, the imputed depreciation aims at the substantial maintenance of capital. It should account for actual equipment wear and provide the internal cost accounting with reports on costs induced by assets impairment. The purpose of the latter is to make the financial means available to annual assets maintenance on the most efficient way and to assist the operation management in forecasting the general performance of equipments.

As regards the ability of financial depreciation to assist the comprehensive asset management, disadvantages overwhelm the only advantage characterized by its simplicity. Therefore, assets managers are looking for an imputed depreciation model, which is in opposite to financial depreciation able to map the condition deterioration as a function of condition relevant measurements data delivered by online monitoring devices.

A key figure for actual market value of the equipment in concern have been developed in order to be able to assess the actual equipment performance. It can also help to take decision regarding the question: maintain or replace ?

For estimating the remaining life time the financial depreciation will be compared with the imputed depreciation. The calculation of the imputed depreciation will be carried out by it for two aging types the natural aging and the failure-based aging concurrently. The most dominating of the mentioned types must be taken into consideration by conducting the mentioned comparison, which provides a solid basis to make prognosis for further development regarding the consumption of remaining life time.

Risk management to control uncertainties

The basic indicator characterising the condition of power system and underlying the computation of further control and performance key figures is the condition deterioration in percentage (*assessed by fuzzy-logic*). Parameters for probability of events, like implementing of maintenance scenarios or breakdown of system components,

are calculated by experience oriented assumptions based on the current value of assets condition deterioration.

In regard to the quantification of risk, there are two different approaches used in this thesis. The first one is a method based on mapping the risk through assets importance and assets condition deterioration in a Cartesian coordinate system. The second one operates with expected values of damage for anticipated risky events. The choice of the most recommended method for modelling the risk depends on the task to be solved and on the available database at disposal. Examples for the practical deployment of the above mentioned methods will be provided.

Feasibility study: Portfolio analysis for 15 circuit breakers.

The choice for conducting a portfolio analysis of circuit breakers using the risk mapping through expected values lies on the available database making possible to calculate the monetary consequences of equipment breakdown on the basis of not delivered energy.

This study demonstrates the considerable advantage of multidimensional decision support by means of fuzzy-logic. It shows, that relying on the financial risk analysis by the definition of replacement priority exclusively would lead to a sub optimal decision. Although the financial risk indicator allows for a rough assessment of replacement priority a precise priority calculation needs a multidimensional fuzzy algorithm. The deployment of such an algorithm will be given in all details.

In addition, it is of vital importance to support the decision making process by setting up replacement priority for assets as well as the proposal regarding the ranking of previously selected maintenance activities.

Supposing that a catalogue of maintenance activities at disposal and the costs of these measures are known, an example for the fastest financial risk reduction by means of optimal scheduling of those maintenance activities will be demonstrated. The applied method is based on the recurrent calculation of financial risk in assets portfolio characterised by expected value of monetary consequences of equipment breakdown. The ranking procedure is done as following: First the most deteriorated controlled unit of the equipment with the highest risk potential must be repaired. Once this unit has been repaired, the breakdown probability of the related equipment, the priority list in the assets portfolio and the budget at disposal must be updated. The subsequent loops should be carried out until the remaining budget is zero. The visualisation of subsequent steps of the above described procedure will be given exemplarily.