

Diagnose von Magnetventilen im Kraftwerksbereich

White Paper

Elektrische Stellantriebe werden als Stellglieder zwischen Prozess und elektrischen Steuer- und Regeleinrichtungen eingesetzt. Sie sorgen für genaues Stellen von Ventilen, Schiebern und Klappen. Im Bereich von Kraftwerken oder Prozess Anlagen werden diese Einrichtungen turnusmäßig einer Funktionskontrolle unterzogen. Bei Ventilen, die hier näher betrachtet werden sollen, kann die einwandfreie Funktion der Einrichtung durch Messung von Öffnungs- und Schließzeiten kontrolliert werden. Diese Aufgabe ist im Gebiet der technischen Diagnose dem Thema vorbeugende und zentrale Instandhaltung zuzuordnen. Ziel ist es, aus der Ermittlung des Betriebszustandes die Ermittlung von Störquellen und die Abgabe einer Restlebensdauerprognose.

Stand der Technik

Bisher wurden die Ventile in regelmäßigen Abständen ausgebaut und eine Untersuchung auf einem Prüfstand durchgeführt. Mit einem Transienten Rekorder wurde der Strom des Ventils aufgezeichnet und die Schaltzeiten des Ventils graphisch aus dem Stromverlauf ermittelt. Hierbei waren die ermittelten Zeitpunkte sehr stark von den subjektiven Einschätzungen des speziellen Testers abhängig. Insbesondere von Seiten der Kraftwerke wird eine Diagnose der Ventile unter Anlagebedingungen gefordert, da der Ein- und Ausbau langwierig ist und eine nicht vernachlässigbare Fehlerquelle darstellt.

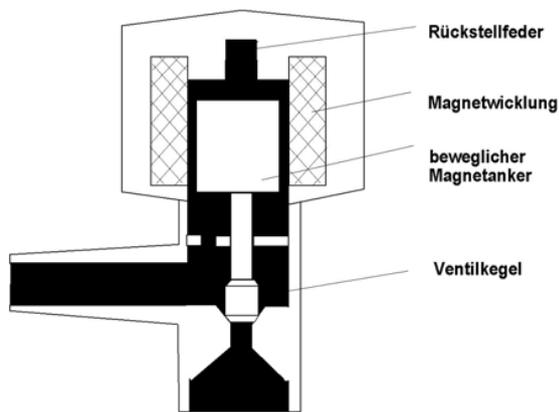


Abb. 1: Prinzip Skizze eines Magnetventils nach /1/

Festlegung der Diagnoseparameter

Gemessen wird der Spulenstrom i und die Spulenspannung u , wobei u zunächst lediglich zum Triggern der Stromaufnahme genutzt wird. Es wird sowohl das Öffnen wie auch das Schließen des Ventils aufgezeichnet und ausgewertet. Bei sprungförmiger Änderung der Spannung ist für einen gewissen Zeitraum ein exponentieller Stromanstieg zu erwarten, da sich der Magnetanker vor dem Zeitpunkt t_1 noch nicht in Bewegung gesetzt hat. Die Bewegung beginnt erst nachdem die magnetische Kraft die Reibkräfte und die Federkraft überwunden hat. Zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 ist der Magnetanker in Bewegung. Nach Erreichen der Endposition zum Zeitpunkt t_2 steigt der Strom ebenfalls exponentiell an, da

auch hier keine mechanische Bewegung stattfindet.

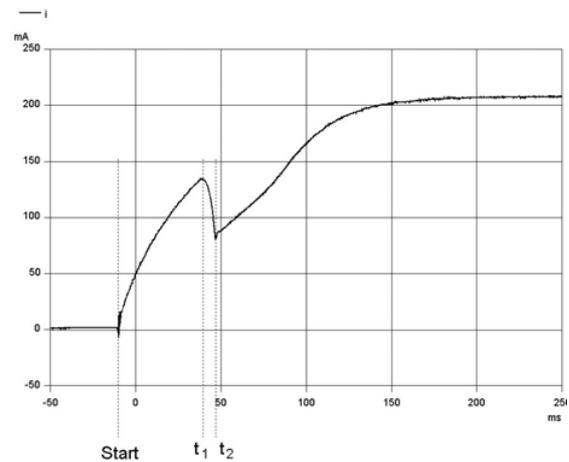


Abb. 2:

Stromverlauf beim Öffnen eines Ventils. Die Zeitpunkte t_1 und t_2 sind zu ermitteln

Ziel ist es, die zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 verstrichene Zeit, die sogenannte Flugzeit, zu ermitteln. Aus der Flugzeit können Rückschlüsse über die ordnungsgemäße Funktion des Ventils gewonnen werden. Damit jeder Bewegung des Ventils neue Messdaten anfallen, kann die Veränderung der Flugzeit als eine Kenngröße für den Anlagenzustand herangezogen werden. Bei den realisierten Anlagen werden die Kenndaten direkt in eine Datenbank überführt und dort ausgewertet. Veränderungen des Ventils können somit beobachtet werden und über den Verbleib der Einrichtung bzw. der rechtzeitige Austausch kann entschieden werden.

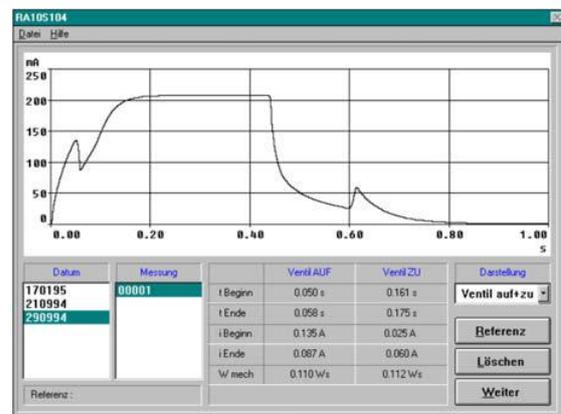


Abb. 3:

Darstellung eines gesamten AUF-ZU Zyklus aus /2/

Automatische Bestimmung der Flugzeit

Die für die Diagnoseaufgabe durchzuführende Flugzeitbestimmung wird in diesem Abschnitt durchgeführt.

Als erster Schritt der Auswertung ist eine nachträgliche Filterung des Stromverlaufes notwendig. Dabei werden Stromspitzen infolge des Schaltvorganges unterdrückt, indem der Signalverlauf auf plausible Anstiege reduziert wird. Diese nichtlineare Filterung eliminiert sämtliche Stromanstiege, die nach Maßgabe der Physik, nicht vom Prüfling erzeugt sein konnten.

Im nächsten Schritt wird der exakte Zeitpunkt des Bewegungsbeginns bestimmt, d.h. es wird der Zeitbereich des stationären Ausgangszustandes ($I = \text{konst.}$) aus dem Stromverlauf beseitigt. Da in diesem Bereich der Strom konstant ist, kann der Stromverlauf hier durch ein Ausgleichspolynom 0. Ordnung approximiert werden. Indem diese Gerade verlängert und mit dem Original Stromverlauf verglichen wird, lässt sich ein Zeitpunkt bestimmen, in dem eine signifikante Abweichung des Stromverlaufes vom Zustand $I = \text{konst.}$ auftritt. Mit diesem Zeitpunkt ist der Einschaltzeitpunkt bestimmt (Start).

Für die Bestimmung der Bewegungszeiten werden die Zeitbereiche im Stromverlauf herangezogen, in denen noch keine bzw. keine Ventilbewegung mehr stattfindet. In diesen Zeitbereichen wird der Anstieg im Stromverlauf allein durch die elektrischen Größen Widerstand und Induktivität bestimmt. Der Stromverlauf gehorcht dabei einer e-Funktion solange Sättigungserscheinungen des magnetischen Feldflusses ausgeschlossen werden können. Durch die Modellierung dieser Stromverläufe und dem Vergleich mit dem Original Stromverlauf lassen sich die Zeiten für den Beginn und das Ende der Ventilbewegung finden.

Es wurde mit folgendem Ansatz gearbeitet.

Sei T die Abtastzeit des Meßsystems, dann kann der Strom zum Zeitpunkt $t = kT$; $k = 0, 1, 2, \dots$ durch ein Polynom 2. Ordnung angenähert werden.

$$\hat{i}(kT) = a_0 + a_1 kT + a_2 (kT)^2$$

Die Koeffizienten a_0 bis a_2 lassen sich aus der Bedingung ermitteln, dass die Differenz zwischen dem gemessenen Strom und der Stromapproximation im Quadratmittel minimal wird.

$$J = \sum_k \left[i_k - (a_0 + a_1 kT + a_2 (kT)^2) \right]^2 \rightarrow \min$$

Hierfür müssen die partiellen Ableitungen

$$\frac{\partial J}{\partial a_0} = \frac{\partial J}{\partial a_1} = \frac{\partial J}{\partial a_2} = 0$$

des Gütefunktion als J nach den Koeffizienten a_0 bis a_2 verschwinden.

Aus diesen Bedingungen lässt sich eine Prädiktion des Stromes, ausgehend vom n -ten Messpunkt über die folgenden m -Schritte herleiten. Aus der Abweichung zwischen dem gemessenen und gefilterten Strom einerseits und der Prädiktion andererseits kann dann über eine Vergleichsschwelle der Beginn bzw. der Endzeitpunkt der Bewegung gefunden werden. Die Vergleichsschwelle wird dynamisch aus dem Messsignal selbst ermittelt. Bei der Bestimmung des Zeitpunktes t_1 (Bild 2) wird die Prädiktion von links gestartet. Um den Zeitpunkt t_2 zu ermitteln wird vom Maximalwert des Stromes beginnend von rechts nach links die Prädiktion durchgeführt.

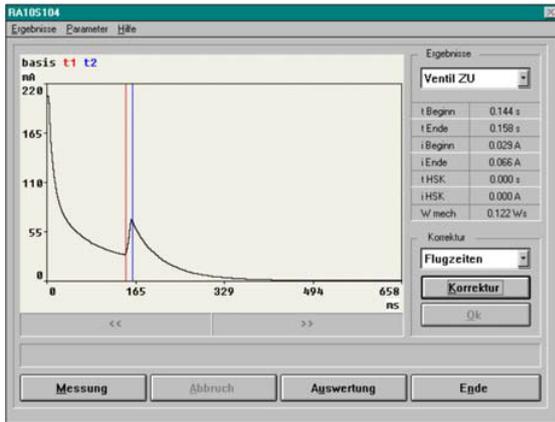


Abb. 4: Dialog des Diagnosesystems (aus /2/) für die Flugzeitbestimmung. Hier ist der Schließvorgang dargestellt. Die eingeblendeten senkrechten Striche kennzeichnen die automatisch ermittelten Zeitpunkte.

Stellkraftreserve als Diagnosekenngröße

Die Bestimmung der Flugzeiten von Ventilen stellen aussagekräftige Eingangsparameter für die diagnostische Aufgabe dar. Ziel einer Untersuchung bei imc /3/ war es, weitere aussagekräftigen Diagnoseparameter aus möglichst einfachen zu ermittelnden Messgrößen abzuleiten.

Fehlerhaftes Verhalten des Systems kann beispielsweise dadurch verursacht sein, dass die Rückstellkraft der Feder zum Schließen des Ventils durch Ermüdungserscheinungen nicht mehr ausreicht oder dass die Reibkräfte den Magnetanker in seiner Bewegung behindern.

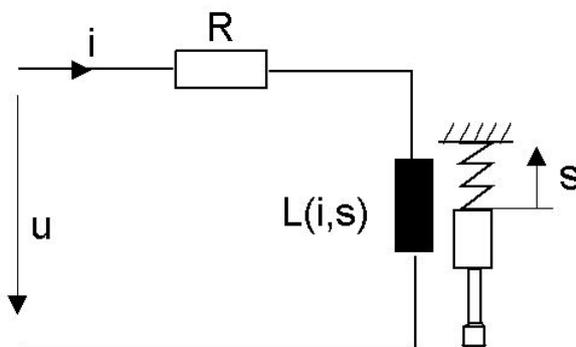


Abb. 5: Schaltbild eines Magnetventils

Eine über den Systemzustand aussagekräftige Größe kann die während der Bewegung des Magnetankers in der Mechanik enthaltene Energie darstellen. Hierzu wird nachfolgender Modellansatz gewählt.

Das System kann durch einen Widerstand R, der hauptsächlich den Ohm'schen Spulenwiderstand repräsentiert, eine wegen der Bewegung des Magnetankers sowohl vom Weg $s(t)$ als auch vom Spulenstrom $i(t)$ abhängige Induktivität $L(i,s)$ dargestellt werden. Zu jedem Zeitpunkt muss die Summe der Energie des Systems Null sein. Es gilt die Bilanz der Augenblicksleistung

$$\int_{t_1}^{t_2} (u \cdot i) dt = \int_{t_1}^{t_2} (i^2 R) dt + W_{\text{mag}}(t_1) - W_{\text{mag}}(t_2) + W_{\text{Speicher}}(t_1) - W_{\text{Speicher}}(t_2) + W_{\text{Verlust}}(t_1) - W_{\text{Verlust}}(t_2)$$

$$u \cdot i = i^2 R + \frac{d}{dt} (W_{\text{mag}}) + \frac{d}{dt} (W_{\text{Speicher}}) + \frac{d}{dt} (W_{\text{Verlust}})$$

aus der Energiebilanz

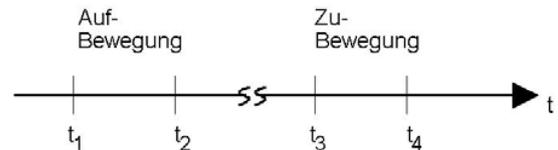


Abb. 6: Zeitlicher Ablauf der Ventilbewegung. Zum Zeitpunkt t_4 wird derselbe Zustand wie zurzeit t_1 erreicht.

folgt. Hierin bedeuten W_{mag} die magnetische Energie der Spule, W_{Speicher} die Federenergie sowie die Bewegungsenergie des Kolbens und unter W_{Verlust} sind sämtliche dissipativen Verluste (z.B. durch Reibung) zusammengefasst. Danach Rückkehr in die Ruhestellung (t_4) die gespeicherten Energien in der Spule sowie in der Feder immer gleich sind, ergibt sich für die mechanischen Verluste während eines Schaltzyklus.

$$W_{\text{Verlust}} = W_{\text{Verlust}}(t_1) - W_{\text{Verlust}}(t_4) = \int_{t_1}^{t_2} (u \cdot i) dt - \int_{t_1}^{t_2} (i^2 R) dt$$

Die Kenngröße W_{Verlust} lässt sich einfach aus den Messgrößen ermitteln, da sowohl Strom als auch Spannung gemessen werden können. Der Widerstand R kann entweder aus den Herstellerangaben entnommen oder experi-

mentell vor dem Einbau des Ventils ermittelt werden. Da diese Kenngröße über die Standzeit des Ventils eine genaue Aussage über den zunehmenden Verschleiß des Ventils machen kann, ist sie sehr gut als Diagnoseparameter geeignet. Weitergehende Aussagen können unter bestimmten Annahmen gemacht werden. Z.B. ist die Geschwindigkeit des Kolbens näherungsweise aus den Messdaten zwischen t_1 und t_2 zu ermitteln. Der zum Zeitpunkt t_1 zu messende Strom $i(t_1)$ ist zusammen mit der Spannung ein Maß für das Losbrechmoment, das zur Einleitung der mechanischen Bewegung erforderlich ist. Weitere Aussagen sind aus den Schließzeiten (Bild 4) über die vorhandene Federkraft machbar.

Zusammenfassung und Augenblick

Es wurde gezeigt, dass die Flugzeit und die dissipativen Verluste eines Magnetventils gute Diagnoseparameter darstellen können. Die erforderlichen Messgrößen lassen sich unter Betriebsbedingungen einfach messen und aus deren Veränderung dieser Größen über der Ventillebensdauer ist eine sichere Diagnose möglich. Solche Diagnosesysteme sind seit 1994 im industriellen Einsatz und haben sich bewährt. Insbesondere die objektive der Mess- und Beurteilungsmethode gegenüber konventionellen Verfahren hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen.

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

imc Test & Measurement GmbH

Voltastr. 5
D-13355 Berlin

Telefon: +49 (0)30-46 7090-0
Fax: +49 (0)30-46 31 576
E-Mail: hotline@imc-tm.de
Internet: <http://www.imc-tm.de>

Die imc Test & Measurement GmbH ist Hersteller und Lösungsanbieter von produktiven Mess- und Prüfsystemen für Forschung, Entwicklung, Service und Fertigung. Darüber hinaus konzipiert und produziert imc schlüsselfertige Elektromotorenprüfstände. Passgenaue Sensor- und Telemetriesysteme ergänzen unser Produktportfolio.

Unsere Anwender kommen aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Bahn, Luftfahrt und Energie. Sie nutzen die imc-Messgeräte, Softwarelösungen und Prüfstände, um Prototypen zu validieren, Produkte zu optimieren, Prozesse zu überwachen und Erkenntnisse aus Messdaten zu gewinnen. Rund um die imc Geräte steht dafür ein umfassendes Dienstleistungsspektrum zur Verfü-

gung, das von der Beratung bis zur kompletten Prüfstandsautomatisierung reicht. Auf diese Weise verfolgen wir konsequent das imc Leistungsversprechen „produktiv messen“.

National wie international unterstützen wir unsere Kunden und Anwender mit einem starken Kompetenz- und Vertriebsnetzwerk.

Wenn Sie mehr über die imc Produkte und Dienstleistungen in Ihrem Land erfahren wollen oder selbst Distributor werden möchten, finden Sie auf unserer Webseite alle Informationen zum imc Partnernetzwerk:

<http://www.imc-tm.de/partner/>



Nutzungshinweis:

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Dieser Bericht darf ohne Genehmigung weder bearbeitet, abgewandelt noch in anderer Weise verändert werden. Ausdrücklich gestattet ist das Veröffentlichung und Vervielfältigen des Dokuments. Bei Veröffentlichung bitten wir darum, dass der Name des Autors, des Unternehmens und eine Verlinkung zur Homepage www.imc-tm.de genannt werden. Trotz inhaltlicher sorgfältiger Ausarbeitung, kann dieser Bericht Fehler enthalten. Sollten Ihnen unzutreffende Informationen auffallen, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis an: marketing@imc-tm.de. Eine Haftung für die Richtigkeit der Informationen wird grundsätzlich ausgeschlossen.