













Zustandsüberwachung von Relais und Schützen

# Schaltelemente sensorlos in Echtzeit überwachen

09.04.2024 · Von Andrey Gadyuchko\* · 8 min Lesedauer · 

Vom Relais zum „Smart Relais“ und vom Schütz zu einem „Smart Contactor“: Wie die angeborenen sensorischen Eigenschaften von Relais und Schützen eine fehlerfreie Produktion, Zustandsüberwachung und Fehlererkennung in Echtzeit ermöglichen.

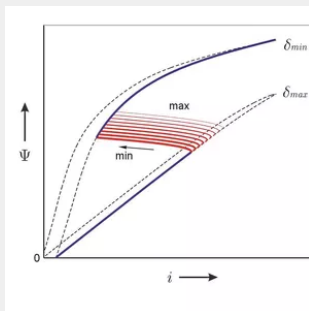
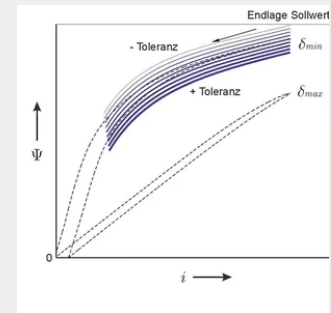
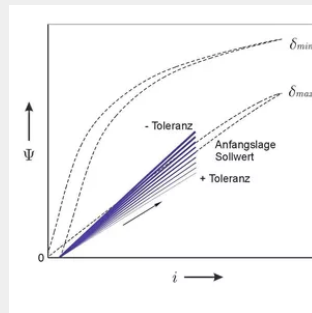
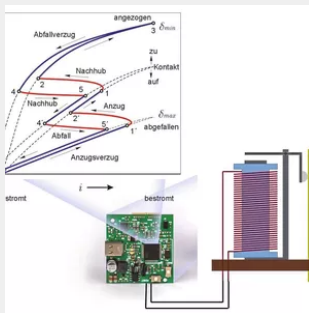
Wer	Hersteller (Lieferant)			Anwender (Kunde)	
	F&E	Prüflabor	Produktion	Applikation	Service
	Analyse	Funktion	Qualität	Monitoring (kontinuierlich)	Zustand (intermittierend)
					
					
					

*Bild 1: Anwendungsgebiete magnetischer Mess- und Prüftechnik.  
(Bild: Ilmenauer Mechatronik)*

Gerade im Bereich elektromagnetischer Relais, deren Grundlage Bereits im Jahre 1835 gelegt wurden und die heute bereits in Milliardenstückzahlen hergestellt und eingesetzt werden, sind Innovationen mittlerweile eine große Herausforderung.

Dieser Beitrag hat zum Ziel, den Status quo im Bereich elektromagnetische Relais und Schütze zu ändern. Üblicherweise werden elektromagnetische Relais und Schütze vor allem aus dem Blickwinkel von Aktoren gesehen. Was meist jedoch übersehen wird, sind die System-inhärenten, also die dem Aktor „angeborenen“, sensorischen Eigenschaften des Magnetkreises, welche sich sowohl als Wegsensoren, als auch als Kraftsensoren nutzen lassen.

## BILDERGALERIE



Üblicherweise sind Relais und Schütze geschlossene bzw. verkapselte Schaltelemente. Dadurch ist die Überwachung mit externen [Sensoren](#) besonders schwierig. Aus diesem Grund bringt es große Vorteile, die sensorischen Eigenschaften des Relais selbst zu nutzen, um den aktuellen Status und somit auch den „Gesundheitszustand“ des Schaltelements sensorlos zu ermitteln.

Nahezu alle versteckten Fehler, die im elektrischen, magnetischen und mechanischen Teilsystem von Relais und Schützen während der Produktion oder im realen Betrieb auftreten können, sind dank dieser sensorischen Eigenschaften selbst im laufenden Betrieb in [Echtzeit](#) erkennbar. Erfahrungsgemäß treten die meisten Fehler im mechanischen Teilsystem auf. Ob in der manuellen und händischen Fertigung von Prototypen, in hochautomatisierten Produktionsanlagen, bei Dauerlaufversuchen unter harten Umgebungsbedingungen oder im

jahrelangen Einsatz des Relais oder Schützes in einer realen Applikation: der Nutzen der sensorlosen Zustandsüberwachung ist überall gleich – Fehler vermeiden und deren Ursachen erkennen. Falls dennoch Fehler auftreten sollten, ist es durch diese Sensorik möglich, diese frühzeitig zu erkennen. Am besten noch bevor der Fehler kritische Ausmaße annimmt und die daraus resultierende Fehlerfortpflanzung zu unterbinden.

## Sensorlose Zustandserkennung bei Schaltelementen

Die realen Vorteile aus der daraus resultierenden sensorlosen Zustandserkennung können auf den gesamten Lebenszyklus dieser Schaltelemente erweitert werden. Angefangen von Forschung und Entwicklung, Fertigung, über Prüflabore bis hin zur realen Applikation. Die wichtigsten Vorteile sind in folgenden Bereichen zu finden:

- Produktion – Null-Fehler-Produktion von Relais und Schützen dank In-line-Prüfung,
- Prüflabor – Dauertests, Analyse unter variablen Umgebungsbedingungen, Reklamationsfälle,
- Applikation – kontinuierliche Zustandsüberwachung von Relais und Schützen.

Im ersten Fall handelt es sich um die Einsparung von Energie, Material und Zeit. Im zweiten Fall steht die Sicherheit eines technischen Systems und eventuell auch menschlichen Lebens im Vordergrund.

Diese Möglichkeiten wurden im Laufe der letzten Jahre als MagHyst-Technologie an verschiedenen elektromagnetischen Systemen kontinuierlich weiterentwickelt und erprobt. Aufgrund des Einsatzes von Elektromagneten als Aktoren in Relais und Schützen lassen sich die Erfahrung von Magnetventilen und Bremsen nun auch übertragen.

## Relais und Schütze im Elektroauto

Ein sehr starker Wandel in der Automobilbranche seit etwa den 2020er Jahren ist am rapiden Rückgang in der Entwicklung und Produktion von Steuerventilen bei konventionelleren Otto- und Dieselmotoren und Antriebssträngen zu erkennen. Die Funktionen von Steuerventilen im konventionellen Verbrenner werden zunehmend von Relais und Schütze im Elektrofahrzeug übernommen. Es müssen immer weniger hydraulische Kreisläufe gesteuert und geregelt werden, dafür immer mehr elektrische Kreise mit höheren Energien. Aus hier genannten Gründen wandert auch die magnetische Technik weg von der Einspritz- und Druckregelventilen der Common-Rail-Technik in Richtung Relais und Schütze.

## Power of Electronics



(Bild: VCG)

Das Knowhow und Networking-Event für Leistungselektronik- und Stromversorgungsexperten bündelt sechs Spezialkonferenzen, die sich angefangen von der effizienten Stromversorgung über die intelligente Nutzung von elektrischer Leistung, effektiver Elektronikkühlung, aktueller **Relaisentwicklungen** bis hin zur geordneten Abführung der überschüssigen Energie erstrecken. Buchen Sie ein Ticket und erhalten Sie die Möglichkeit, die Vorträge aller sechs Veranstaltungen zu besuchen.

Aufgrund der Vielfalt und Komplexität der Technologie wird es dem Autor nicht gelingen, alle Vorteile dieser Technologie für Relais und Schütze auch nur im Ansatz zu erwähnen. Nach Analyse von verschiedenen Magnetrelais und Schützen lässt sich jedoch sagen, dass auch hier sämtliche Fehler, welche mindestens indirekt mit Ankerposition oder Magnetkraft rückgekoppelt sind, durch die MagHyst ermitteln lassen. Hierbei kann neben der initialen Vermessung im Labor oder in der Produktion auch jeder einzelne Schaltzyklus als Testzyklus genutzt werden.

### Welche Fehler werden bei Relais und Schützen erfasst?

Für maximale Präzision bei der Analyse wurden spezielle Ansteuerprofile und Auswerteverfahren erarbeitet und patentiert. Anbei ist eine kurze Aufzählung von allgemeinen Parametern und vor allem Fehlern, die je nach konstruktiver Ausführung von Relais oder Schützen messtechnisch erfasst und erkannt werden können.

### Jetzt Newsletter abonnieren

Verpassen Sie nicht unsere besten Inhalte

Mit Klick auf „Newsletter abonnieren“ erkläre ich mich mit der Verarbeitung und Nutzung meiner Daten gemäß [Einwilligungserklärung](#) (bitte aufklappen für Details)

einverstanden und akzeptiere die Nutzungsbedingungen. Weitere Informationen finde ich in unserer Datenschutzerklärung.

Aufklappen für Details zu Ihrer Einwilligung

- Elektrisches Teilsystem (Windungskurzschluss, Widerstand und Induktivität der Spule)
- Magnetisches Teilsystem (Qualitätsprüfung verwendeter weichmagnetischer Werkstoffe, Einfluss spanender mechanischer Bearbeitung auf magnetische Eigenschaften von Einzelnen Bauteilen und Baugruppen, Einfluss thermischer Behandlung auf magnetische Eigenschaften, Fehlererkennung bei polarisierten Systemen mit Dauermagneten, Ermittlung der B(H)-Kennlinie und Wirbelstromverluste, resultierende Toleranzen und Fertigungsstreuung)
- Mechanisches Teilsystem – Fehlerermittlung in der Position des Ankers (Ankeranfangslage, Kontaktabstand, Ankerendlage, Ankerweg, Nachhub)
- Mechanisches Teilsystem – Fehlerermittlung in der Magnetkraft und Lastkennlinie (maximale Kraft, kontaktgebende Federvorspannung, Ankerfedervorspannung, Kontaktkraft, Federsteifigkeit, Krafthysterese, Reibung, Klemmen des Ankers, Ankerprellen)
- Dynamik des Gesamtsystems (momentane Lage des Ankers, Magnetkraft und Ein- und Ausschaltzeit, -strom, -spannung).

## Konstruktionsmerkmale von Relais und Schützen

Relais bzw. Schütze bestehen aus zwei Komponenten: Dem Elektromagneten (Aktor und gleichzeitig Sensor) und der Kontaktgruppe (Last). Durch die Nutzung des Aktors als Sensor werden versteckte Fehler nicht nur am Aktor selbst, sondern auch in der gesamten Kontaktgruppe erkannt. So wird die Qualität und der Zustand der Kontaktgruppe bei jedem Schalt- bzw. Prüfzyklus überprüft.

Relais zeichnen sich oft durch einen Klappanker, eine gekapselte Konstruktion, filigrane Bauteile, kleine Kräfte und hohe Anforderungen an die Bauteiltoleranzen bei minimaler Kosten aus. Durch den hohen Integrationsgrad der Baugruppen, beispielsweise durch das Verkleben von Kontaktgruppen oder des Gehäuses, die mit unterschiedlichen Fertigungsfehlern verbunden sind, ist häufig eine Justage des Relais notwendig, um alle Toleranzen anschließend zu kompensieren und die geforderte Genauigkeit der Funktion sicherzustellen.

Bei den Schützen wird meistens ein Elektromagnet mit Tauchanker verwendet, der viel höhere Kräfte bei deutlich größeren Hübten erzeugen muss. Es werden jedoch hohe Anforderungen an die Schaltdynamik gestellt, bei denen Magnetkraft, Ankerhub und Gegenkräfte möglichst genau abgestimmt werden müssen. Häufig werden Schütze mit Gas gefüllt und versiegelt.

## Prüfung des Schaltverhaltens

Relais und Schütze ähneln einander, da sie oft in einem Gehäuse untergebracht und gekapselt sind, wodurch eine klassische mechanische Prüfung entweder sehr umständlich oder komplett unmöglich ist. Aus diesen Gründen wird die Funktion des Relais überwiegend durch das Schaltverhalten der Kontaktgruppe geprüft. Somit können die in Ordnung (i.O.) und nicht in Ordnung (n.i.O.) befindlichen Komponenten leicht erkannt werden, jedoch bleibt die Fehlerursache bei n.i.O. Teilen wie in einer Blackbox unbekannt und erfordert eine aufwendige Demontage und Analyse der n.i.O. Komponenten.

Durch die Demontage selbst können bereits vorhandene Fehler behoben werden. Es besteht jedoch immer das Risiko, dass die Ausfallquote von n.i.O. Relais und Schützen den zulässigen Prozentsatz überschreitet. Hier bietet die sensorlose Prüfung von Relais und Schützen einen erheblichen Mehrwert, da die komplette Fertigung bei der Prüfung abgedeckt werden kann und gleichzeitig keine Sensoren – bis auf den schon vorhandenen elektrischen Kontakt zur Erregerspule des Aktors – integriert werden müssen. Falls das Verhalten der Schließerkontakte klassischerweise mit überwacht wird, gibt es keine Fehler mehr, die Relais oder Schütze verbergen könnten.

## Prüfung mit der magnetischen Technologie

Das Alleinstellungsmerkmal der vorgestellten magnetischen Technologie besteht darin, dass sie mit entsprechenden Verfahren so umgesetzt wird, dass die an den Relais gewonnenen Prüfergebnisse unabhängig von der Spulentemperatur und der Betriebsspannung sind, die üblicherweise starken Schwankungen unterliegen. Somit wird garantiert, dass die Prüfergebnisse beim Dauertest in einer Klimakammer oder der Zustandsüberwachung von Relais und Schützen in einer realen Applikation z. B. bei  $-40$  bis  $120$  °C und bei zulässigen Spannungsschwankungen zuverlässig sind.

Das Verfahren basiert auf der  $\Psi(i, \delta)$ -Magnetisierungskennlinie. Es bringt eindeutige Vorteile bei definierten und immer wieder auftretenden Problemen in der Produktion und kann für

die Zustandsüberwachung im realen Einsatz genutzt werden. Optimalerweise wird bereits bei der Planung von Fertigungslinien die magnetische sensorlose Prüfung berücksichtigt, wodurch von Anfang an eine minimale Fehlerquote garantiert ist. Bereits in der Einlaufphase des Produktes können Probleme und Fehler schnell identifiziert werden. Des Weiteren kann hier auf zusätzliche Hardware, beispielsweise zur Widerstands- und Induktivitätsmessung verzichtet werden. Auch bestehende Fertigungslinien können leicht nachgerüstet werden, um mit einer 100 Prozent Prüfung Qualität zu garantieren.

## Position und Kraft genau messen

Das Verfahren wurde in verschiedenen Mess- und Prüfsystemen umgesetzt, um tatsächlich  $\mu\text{m}$ - und  $\text{mN}$ -genau Position und Kraft bei Relais und Schützen sensorlos zu ermitteln. Die abgewandelten und vereinfachten Methoden können auf das Notwendige reduziert und auf einer kleinen Leiterplatte untergebracht werden, um die sensorlose Zustandsüberwachung im laufenden Betrieb zu ermöglichen.

In den Bildern 3 bis 7 werden unterschiedliche Fehlerbilder von Relais und Schützen dargestellt, die während der Fertigung oder auch in Anwendung während der Lebensdauer auftreten können. Es wird angenommen, dass die mechanischen Kennlinien für einen Relais-Fachmann selbsterklärend sind. Wie die Magnetisierungskennlinie tatsächlich gemessen wird und wie sie zu interpolieren ist, kann aus den angegebenen Quellen entnommen werden. Es ist zu sehen, wie sich die mechanische  $F(\delta)$ -Kraft-Hub-Kennlinie je nach Fehlerbild in einem Relais verändert und wie sich die dazugehörige gemessene Magnetisierungskennlinie  $\Psi(i, \delta)$  entsprechend verhält. Der Einfachheit halber wird der Kontaktabstand als normierter Luftspalt des Magnetkreises dargestellt.

Es sind zwei Fehlerbilder (Bild 3, 4) dargestellt, die eine Rückwirkung auf die Ankerposition haben, sowie zwei Fehlerbilder (Bild 5, 6), die eine Änderung der Magnetkraft verursachen. Ein für Relais und Schütze realer Schaltzyklus mit Kontaktgruppe und zusätzlicher gegen die Magnetkraft wirkender Kontaktkraft ist in den Bildern 7a,b dargestellt. Wie es in jeder Fertigung üblich ist, kann nach der Integration von Relais und Kontaktgruppe der Nachhub bestimmte mechanische Toleranzen aufweisen, die anschließend justiert werden. Hier ist ein Beispiel dargestellt, wie der Nachhub magnetisch sensorlos ermittelt werden kann.

**Fazit:** Mit dem vorgestellten Verfahren ist der Schritt vom Relais zum „Smart Relais“ und vom Schütz zu einem „Smart Contactor“ möglich – für Anwendungen mit hoher Ausfallsicherheit und gewünschter Zustandsüberwachung von Komponenten. Auch wirtschaftliche Aspekte,

alternde Aktoren vor dem Ausfall zu detektieren und auf zusätzliche Sensorsysteme zu verzichten, sind wichtig. (kr)

## Literatur

<https://img-ilmenau.de/de/downloads/publikationen>

<https://www.youtube.com/@maghyst1872>

\* Andrey Gadyuchko ist Entwickler bei der Ilmenauer Mechatronik GmbH in Ilmenau.

(ID:49965763)