

# Neu: Vakuumleistungsschalter mit permanent-magnetischem Antrieb

Von Edgar Dullni, Harald Fink, Gerhard Hörner, Günter Leonhardt und Christian Reuber, Ratingen \*)

**Den neuen Mittelspannungs-Vakuumleistungsschalter VM1 der ABB Calor Emag Schaltanlagen AG zeichnen zwei wichtige Innovationen aus: Er ist vollkommen wartungsfrei dank seines neuen permanent-magnetischen Antriebs und einer sehr robusten Mechanik. Außerdem sind seine Polteile, um eine optimale Spannungsfestigkeit zu erreichen und um sie vor äußeren Einwirkungen sicher zu schützen, komplett in Epoxydharz eingegossen.**

## Trends in der Antriebstechnik

Vakuumleistungsschalter behaupten seit Jahren ihren Platz in Mittelspannungsschaltanlagen als zuverlässige, nahezu wartungsfreie und schaltsichere Geräte. Innovationen der Vakuumschalttechnik haben die Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung der äußeren Abmessungen ständig weiter erhöht. Die am Anfang eingesetzten, vom ölarmen Schalter her bekannten mechanischen Antriebe wurden verkleinert und dem geringeren Energiebedarf der Vakuumschaltkammer angepaßt. Nachteilig blieb aber die Vielzahl von Teilen, die zur Steuerung des Ablaufs eines rein mechanischen Antriebs notwendig sind. Es ist bekannt, daß die Möglichkeit einer Störung mit der Anzahl der Einzelteile ansteigt. Die Störungsstatistik verweist deshalb vorwiegend auf mechanische Fehler.

Ein großer Vorteil der Vakuumschaltkammer ist ihre hervorragende innere Spannungsfestigkeit im Vakuum, das keinerlei Kontrolle bedarf. Die äußere Spannungsfestigkeit unterliegt allerdings den Gesetzen der Spannungsisolation in Luft und erfordert demnach entsprechend große Abmessungen und Maßnahmen gegen Umwelteinwirkungen wie Verschmutzung der Oberfläche, Betauung usw. Es liegt nahe, die Vorteile einer Vakuumschaltkammer mit kurzer äußerer Isolation (Keramik) durch eine Feststoffisolation, d.h. Einguß in Gießharz oder Silikon aufzuwerten. Die Vakuumschaltkammer wäre zudem optimal gegen äußere mechanische Einwirkungen geschützt.

Schon früh befaßte man sich mit elektromagnetischen Antrieben für Vakuumschaltkammern [1]. Zum Einsatz kamen

sie jedoch nur bei sehr häufig zu schaltenden Schützen. Der Nachteil einer hohen Leistungsaufnahme und der notwendigen mechanischen Steuerungs- und elektrischen Schaltelemente für den Spulenstrom standen der weiteren Verbreitung entgegen. Ungeachtet dessen kommt der elektromagnetische Antrieb den Antriebsanforderungen der Vakuumschaltkammer ideal entgegen: beide zeichnen sich zum einen durch einen geringen Hub (8 bis 12 mm) und zum anderen - in der Einschaltstellung - durch einen großen Kraftbedarf (2000 bis 4000 N je Phase) bzw. ein großes Kraftangebot aus.



Bild 1. Ansicht des VM1-Leistungsschalters

Figure 1. View of the VM1 circuit breaker

Durch eine spezielle Kombination von Elektro- und Permanentmagnet [2] konnten der hohe Leistungsbedarf zum Schalten und die Nachteile eines mechanischen Klinkensystems für die Endstellungen vermieden werden. Die Vakuumschaltkammer wird ohne jegliche elektrische Energie durch die Haltekraft eines Permanentmagneten in der Ein- bzw. Ausschaltstellung gehalten. Dadurch ist der Antrieb wesentlich einfacher als ein herkömmlicher mechanischer Antrieb aufgebaut (Bild 1). Durch die drastische Reduzierung von Einzelteilen ist die Störanfälligkeit erheblich kleiner, so daß sich jegliche Wartung des Antriebs erübrigt.

Der Einsatz leistungsfähiger und kostengünstiger Elektronik kompensiert heute den früheren Nachteil von zusätzlichen Niederspannungs-Schaltelementen für den Spulenstrom. Die Elektronik bietet zudem sämtliche Möglichkeiten für Verriegelungen, Meldungen, Auslösungen und darüber hinaus zur Selbstdiagnose, die beim konventionellen Antrieb entweder durch aufwendige Verdrahtung von Hilfsschaltern oder überhaupt nicht möglich sind. Vom Gerät betätigte Hilfsschalter erübrigen sich durch den Einsatz von induktiven Näherungssensoren, die solche Aufgaben ohne bewegte mechanische Teile berührungslos erfüllen.

## Permanent-magnetisches Schaltprinzip

Ein herkömmlicher Federspeicherantrieb hat eine große Anzahl mechanischer Elemente; typisch etwa 160 ohne Normteile wie Schrauben. Der Magnetantrieb ist demgegenüber deutlich vereinfacht (Bild 2): Neben dem beweglichen Kontakt der Vakuumkammer selbst besteht er lediglich noch aus der Koppelstange mit Kontaktdruckfeder, einer geschweißten Hebelwelle 1 und dem permanent-magnetischen Aktuator 3 bis 6. Die Anzahl der Teile hat sich auf weniger als 40 % reduziert.

Bild 3a zeigt einen solchen Aktuator im Schnitt. Dargestellt sind die feststehenden Eisenpakete, die Permanentmagnete 4, der bewegliche Anker aus Stahl 5, sowie Spulen zum Ein- 3 und zum Ausschalten 6.

Die in diesem Bild 3a eingezeichneten magnetischen Feldlinien helfen, die Funktionsweise des Aktuators zu verstehen. In der gezeigten Position bildet der »oben« liegende Anker (Ausschaltstellung) zusammen mit den Eisenpaketen einen Pfad mit geringem magnetischen Widerstand für das Feld der Permanentmagnete. Im Gegensatz dazu stellt der große Luftspalt am unteren Ende des Ankers einen hohen magnetischen Widerstand dar.

\*) Dr. rer. nat. E. Dullni, Dr.-Ing. H. Fink, Dipl.-Ing. G. Hörner und Dr.-Ing. Ch. Reuber sind Mitarbeiter, Dipl.-Ing. G. Leonhardt war zur Zeit der Entwicklung des permanentmagnetischen Antriebs Vorstand der ABB Calor Emag Schaltanlagen AG, Ratingen.

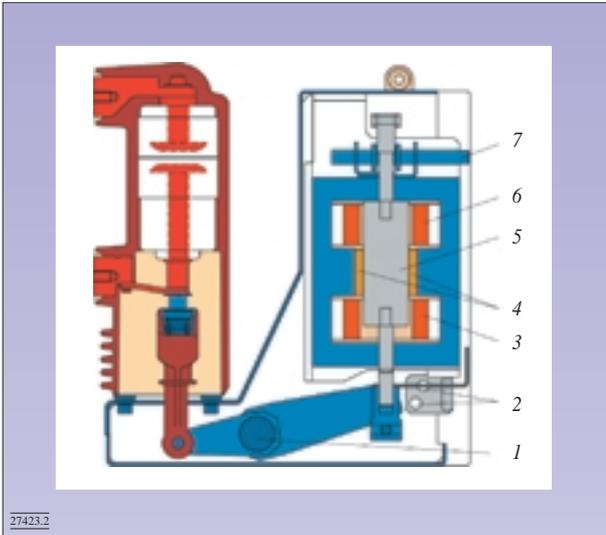


Bild 2. Schnitt durch Antrieb und Polteil des Leistungsschalters

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1 Hebelwelle        | 5 Anker            |
| 2 Näherungssensoren | 6 Ausschaltspule   |
| 3 Einschaltspule    | 7 Not-Ausschaltung |
| 4 Permanentmagnete  |                    |

Figure 2. Section of the operating mechanism and pole part of the circuit breaker

- |                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| 1 Lever shaft       | 5 Plunger                      |
| 2 Proximity sensors | 6 Opening coil                 |
| 3 Closing coil      | 7 Emergency breaking operation |
| 4 Permanent magnets |                                |

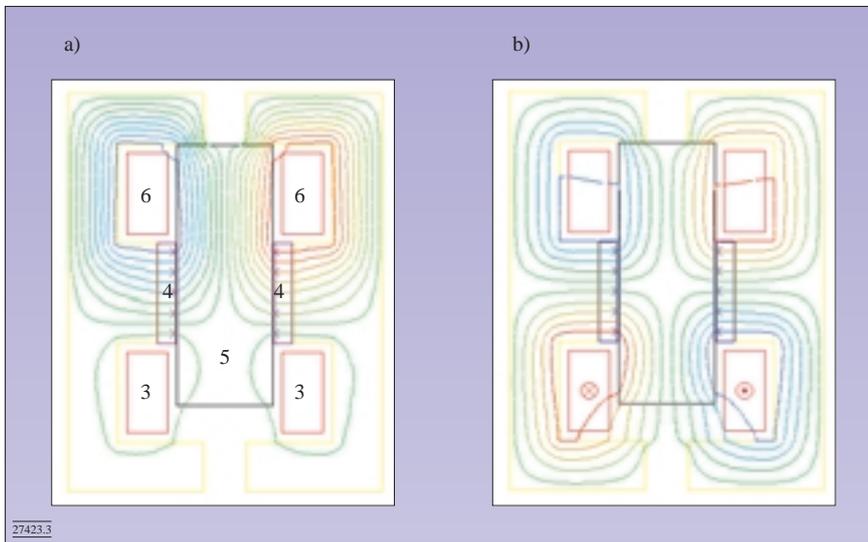


Bild 3. Verlauf der magnetischen Feldlinien  
a) in ausgeschalteter Stellung

b) kurz vor Bewegungsbeginn

Figure 3. Distribution of the magnetic field lines  
a) in the open position

b) shortly before the start of motion

Die Feldlinien verlaufen deshalb fast ausschließlich über die anliegende Seite des Ankers. Die hohe Konzentration der Feldlinien ergibt an dieser Stelle eine große Haltekraft.

Diese Haltekraft wird über die Hebelwelle 1 in Bild 2 direkt auf die Kontaktstücke in der Vakuumkammer übertragen. Die Kontaktfeder dient dabei zum Ausgleich von Kontaktabbrand nach der Unterbrechung hoher Kurzschlußströme. Im eingeschalteten Betrieb der Vakuumkammer sind hohe Kontaktkräfte notwendig, da sonst die im Kurzschlußfall auftretenden Ströme unbeabsichtigt die Kontaktstücke öffnen könnten.

Zur Erzeugung der Haltekraft dienen allein die Permanentmagnete. Die Spulen sind nur zum Umschalten erforderlich. Bild 3b zeigt dies am Beispiel der Einschaltung: die zusätzliche magnetische Energie der unteren Spule kompensiert den hohen magnetischen Widerstand des Luftspalts, so daß die Feldlinien der Permanentmagnete mehr und mehr auf den unteren Pfad gelenkt werden. Die Haltekraft »oben« nimmt ab, während die anziehende Kraft »unten« wächst. Bei Überschreiten einer bestimmten Stromstärke in der Spule bewegt sich der Anker. Bild 3b ist eine Momentaufnahme der Feldlinien kurz vor Bewegungsbeginn des Ankers. Nach dem sicheren Erreichen der Endlage wird der Spulenstrom unterbrochen. Es entsteht eine Feldlinienverteilung entsprechend der in Bild 3a, nur mit dem Anker in der anderen Endlage.

Eine Hand-Notausschaltung ist im übrigen mit einer speziellen Kurbel möglich. Die Kurbel greift direkt am Aktuator an (7 in Bild 2), umgeht also jegliche Zwischenübertragungselemente.

Die Funktionsweise des Aktuators läßt sich mit einem bistabilen Endlagenschalter beschreiben, der ohne mechanische Steuer- und Klinkenfunktionen auskommt. Mit solch einem System werden ohne weiteres 100 000 Schaltspiele erreicht. Neben der Dauerschaltfestigkeit wurde aber auch Wert auf Langlebigkeit gelegt. Besonders erwähnt seien hier die Permanentmagnete aus Neodymium-Eisen-Bor (NdFeB). Aufgrund der vergleichsweise geringen Betriebstemperatur (maximal 80 °C) und sehr schwachen Gegenfeldern altert das Material praktisch nicht. So ist nach Extrapolation von Herstellerdaten selbst bei deutlich höheren Temperaturen ein Verlust von 1 % der Remanenzinduktion erst nach 100 Jahren zu erwarten. Eine Schutzschicht bewahrt die Oberfläche vor Korrosion.

#### Steuerung des Aktuators

Das vollelektronische Versorgungs- und Steuerungsteil des Leistungsschalters muß alle vom herkömmlichen mechanischen Antrieb mit Hilfsschaltern bekannten Funktionen erfüllen und darüber hin-

aus die Energie zum Ein- und Ausschalten des Aktuators bereitstellen und kontrollieren (Bild 4).

Ein Netzteil 3 mit einem Eingangsspannungsbereich von entweder 17 bis 66 V DC (AC: 17 bis 48 V) oder 85 bis 260 V AC/DC stellt unabhängig von Stabilität und Qualität der angelegten Speisespannung eine konstante Betriebsspannung von 80 V zur Verfügung. Das mühsame Anpassen der Betriebsmittel im Schalter an die kundenspezifischen Anschlußspannungen entfällt damit. Unter- und Überspannung haben keinen Einfluß auf Schaltzeiten. Bei einem Ausfall der Speisespannung gewährleistet der Speicherkondensator 2 min lang eine Ausschaltung.

Dieser Elektrolytkondensator stellt die erforderliche Stoßleistung von bis zu 3 000 W für die Erregung der Ein- und Ausschaltspulen 1 des Aktuators bereit. Er speichert die elektrische Energie von weniger als 200 J für einen kompletten O-CO-Schaltzyklus. Nach solch einem Schaltzyklus lädt sich der Kondensator innerhalb von etwa 10 s mit einem Spitzenstrom von höchstens 2 A wieder auf. Elektrolytkondensatoren haben heute eine sehr gute Qualität und Lebenserwartung. Selbst bei einer relativ hohen Betriebstemperatur von 55 °C beträgt die Betriebsdauer noch mehr als 30 Jahre.

Leistungshalbleiter, hier eine Kombination von MOSFET-Transistoren und Thyristoren, kontrollieren den Schaltstrom für die Ein- bzw. Ausschaltung des Aktuators. Die beim Unterbrechen des Stroms auftretenden, durch die Induktivität der Spulen bewirkten Schaltspannungen werden durch parallele Freilaufdioden soweit reduziert, daß sie auf die Halbleiterbauelemente keinerlei Einfluß mehr haben. Eine großzügige Dimensionierung der Bauteile garantiert das Maximum an Qualität und Lebensdauer, wie zahlreiche Prüfungen belegen.

Ein festprogrammierter Logikbaustein steuert gemäß den festgelegten Bedingungen den Leistungsschalter. Schaltbefehle werden nur unter Berücksichtigung der Schaltstellung, die von zwei induktiven Näherungssensoren 5 erfaßt wird, und des Ladezustandes des Speicherkondensators ausgeführt. Zum Beispiel muß in der Ausschaltstellung die Ladung für eine komplette CO-Schaltung vorhanden sein. Die Steuerung sperrt auch die Einschaltung, wenn gleichzeitig ein Ausschaltbefehl vorliegt, oder verhindert eine

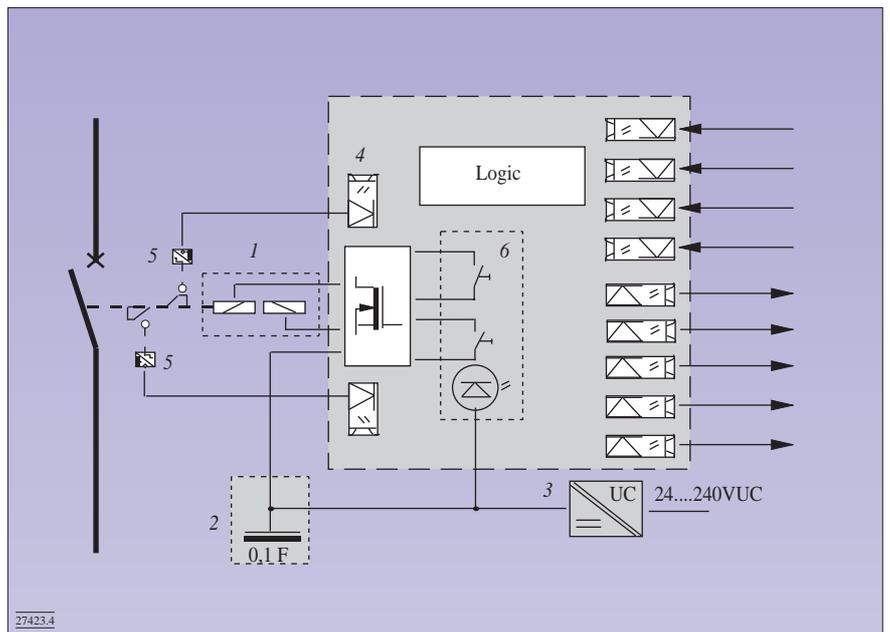


Bild 4. Blockschaltbild der Steuerelektronik

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 Aus- und Einschaltspulen | 5 Näherungssensoren                            |
| 2 Speicherkondensator      | 6 Eintaster, Austaster und Schaltbereitanzeige |
| 3 Netzteil                 |  |
| 4 Leistungshalbleiter      |  |

Figure 4. Block diagram of the control electronics

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1 Opening and closing coils | 5 Proximity sensors                                       |
| 2 Storage capacitor         | 6 On button, off button and switching readiness indicator |
| 3 Power pack                |   |
| 4 Power semiconductor       |   |

zweite Einschaltung, wenn bei anstehendem Einschaltbefehl eine Ausschaltung stattgefunden hat. Die Näherungssensoren erfassen nicht erlaubte Zwischenstellungen, z.B. eine nicht erreichte Endlage, und melden sie als Störung.

Vier Ein- und fünf Ausgänge, die für 2,5 kV galvanisch getrennt sind, bilden die Schnittstelle zu einer Feld- bzw. Stationsleittechnik. Die binären Eingänge mit einem Innenwiderstand von 300 k $\Omega$  können mit 20 bis 250 V AC/DC angesteuert werden. Die binären Ausgänge melden Schaltzustände und beherrschen Schaltspannungen bis 400 V DC oder 280 V AC bei einem Dauerstrom von maximal 0,5 A. Die EMV-Festigkeit des Netzteils und der Steuerung wurde gemäß IEC1000-4-x durch verschiedene Schaltleistungsversuche und extreme Spannungsprüfungen mit und ohne Spannungsüberschlägen nachgewiesen.

#### Grundsätzlicher Aufbau des Schaltgerätes

Der neue Leistungsschalter, Typ VM1, ist voll kompatibel zu seinem Vorgänger, dem Leistungsschalter VD4. Dies ermöglicht einen direkten Austausch in Schaltfeldern, allerdings unter Berücksichtigung der speziellen elektrischen An-

schlußbedingungen, die sich durch den Wegfall der konventionellen Hilfsschalter ergeben. Die mechanische Stellungsanzeige steuert direkt zwei induktive Näherungssensoren für Ein- bzw. Ausschaltstellung an.

Bild 2 zeigt schematisch den Aufbau des Schalters und einen Schnitt durch das Polteil in Eingußtechnik. Durch die Eingußtechnik erübrigt sich eine spezielle Halterung der Vakuumkammer oder der Anschlußstücke. Durch die geringe Anzahl lösbarer Elemente ist auch hierbei die Fehlermöglichkeit gegenüber Polteilen in Montagetechnik nochmals deutlich reduziert. In umfangreichen Klima- und Wechseltemperaturprüfungen (-30 bis +105 °C) wurde die mechanische Festigkeit der Polteile nachgewiesen. Komplexe elektrische und mechanische Versuche dienen zum Nachweis der Altersbeständigkeit im Betrieb.

Der Schalter ist mit einem Aktuator und zwei Polteilvarianten für die folgenden Leistungsdaten lieferbar, die nach IEC 694 und 56 nachgewiesen wurden:

Bemessungs- spannung	Bemessungs- strom	Ausschalt- strom
12 kV	630/1250A	25 kA
17,5 kV	630/1250A	20 kA
24 kV	630/1250A	20 kA

### Ausblick

Mit dem neuen Leistungsschalter VM1 ist ein bemerkenswerter Qualitätssprung gelungen. Durch einen permanent-magnetischen Antrieb und Verzicht auf störanfällige Klinken- und Steuerungselemente verfügt der Betreiber über ein wartungsfreies Gerät. Weitere Schalter mit höheren Bemessungsdaten werden die Lieferpalette erweitern, so daß in naher Zukunft eine ganze Familie von magnetgetriebenen, kostengünstigen Schaltern zur Verfügung steht. Durch den Einsatz von in Gießharz eingegossenen Polteilen ist der Weg vorbereitet für noch platzsparendere Schalter, die sich in kleinste Schaltanlagen einsetzen lassen.

Diese wartungsfreien Komponenten sichern in Verbindung mit der integrierten Intelligenz für Steuerung und Diagnose, später auch für Messung und Schutz, eine zuverlässige, kontinuierliche Betriebsführung. Positive Betriebserfahrungen mit dem neuen VM1-Schalter liegen bereits vor, u.a. bei einem Großkunden aus der chemischen Industrie. Die vorgestellte technische Lösung zeigt, daß auch bei einem ausgereiften Schaltgerät wie dem Vakuumleistungsschalter durch die Symbiose der bekannten Vakuumschalttechnik [3] mit einem neuen magnetischen Antriebssystem innovative Entwicklungskonzepte umgesetzt und eine weitere Optimierung des Kundennutzens erreicht werden können.

### Schrifttum

- [1] Minovic, M.: Schaltgeräte: Theorie und Praxis. Hütling und Pflaum Verlag München/Heidelberg, 1977.
- [2] Mckean, B.; Kenworthy, D.: Bistable magnetic actuator. World patent application WO 95/07542, 1994.
- [3] Fink, H.; Gentsch, D.; Pilsinger, G.; Shang, W.: Vakuumschaltkammern für zuverlässige Mittelspannungsschaltgeräte. Elektrizitätswirtschaft 96 (1997), H. 14, S. 749-752.

(27423d)

# Totally maintenance-free: new vacuum circuit breaker with permanent magnet actuator

By Edgar Dullni, Harald Fink, Gerhard Hörner, Günter Leonhardt and Christian Reuber, Ratingen\*)

**The new medium voltage circuit breaker type VM1 from ABB Calor Emag Schaltanlagen AG is notable for two important innovations: with its new permanent magnet actuator and robust mechanism, it is completely maintenance-free. In addition, its pole parts are completely embedded in epoxy resin in order to achieve an optimum dielectric strength and effectively protect them from external influences.**

### Trends in operating mechanism technology

Vacuum circuit breakers have maintained their position in medium voltage switchgear for years as reliable, almost maintenance-free and safe devices. Innovations in vacuum switching technology have constantly increased their efficiency while at the same time reducing their external dimensions. The mechanical operating mechanisms initially used, familiar in the context of minimum oil breakers, were made more compact and adapted to suit the lower energy requirement of vacuum interrupters. The large number of parts required to control the function of a purely mechanical operating mechanism however remained a disadvantage. It will be remembered that the possibility of a failure increases in proportion to the number of individual parts. The failure statistics therefore predominantly comprise mechanical defects.

One great advantage of the vacuum interrupter is its excellent internal dielectric strength in the vacuum, which requires no monitoring. The external dielectric strength, however, is subject to the laws of voltage insulation in air, and therefore demands appropriately large dimensions and measures to counteract environmental influences such as contamination of the surface, condensation etc. It is an obvious step to enhance the advantages of a vacuum interrupter with short insulation (ceramics) by adding solid insulation, i.e. embedding it in cast resin or silicone. The vacuum interrupter is then also optimally protected from external mechanical influences.

Even at an early stage, attention was devoted to electromagnetic operating mechanisms for vacuum interrupters [1]. They were however only used with contactors which required extremely frequent switching. The disadvantages of a high power consumption and the necessary mechanical control and electrical switching components for the coil current opposed their further spread. Furthermore, mechanical latching in the limit positions was required. Irrespective of this, electromagnetic operating mechanisms ideally match the requirements of vacuum interrupters: both are characterised on the one hand by a short stroke (8 - 12 mm), and on the other hand – in the closed position – by a large force requirement (2000 to 4000 N per phase) and a large force capability respectively.

By means of a special combination of electric and permanent magnets [2] it was possible to avoid the high power requirement for switching and the disadvantages of a mechanical latching system for the limit positions. The vacuum interrupter is held in the open and closed positions by the force of a permanent magnet without any electrical energy. As a result, the operating mechanism is considerably simpler in structure than a conventional mechanical system (figure 1). With the drastic reduction in the number of parts, the sus-

\*) Dr. rer.nat. E. Dullni, Dr.-Ing. H. Fink, Dipl.-Ing. G. Hörner and Dr.-Ing. Ch. Reuber are on the staff of ABB Calor Emag Schaltanlagen, Ratingen, and Dipl.-Ing. G. Leonhardt was Chairman of the Board when the permanent magnet actuator was developed.

ceptibility to failures is significantly lower, and therefore no maintenance of the operating mechanism is necessary.

The use of powerful and inexpensive electronics now compensates for the former disadvantage of additional low voltage switching components for the coil current. The electronics also provide all the facilities for interlocking, signalling, releases and also self-diagnosis, which can only be implemented in conventional mechanisms by complex wiring of auxiliary switches if at all. The need for auxiliary switches operated by the device is obviated by the use of inductive proximity sensors, which perform these functions without physical contact and without mechanical moving parts.

### Permanent magnet switching principle

A conventional stored energy spring mechanism has a large number of mechanical components: typically around 160, without standardised parts such as screws. The magnetic operating mechanism, in contrast, is significantly simpler (figure 2). Apart from the moving contact in the vacuum interrupter itself, it consists merely of the link rod with contact pressure spring, a welded lever shaft 1 and the permanent magnet actuator 3-6. The number of parts has been reduced to less than 40 %.

Figure 3a shows a section of such an actuator. The figure shows the fixed laminated iron core, the permanent magnets 4, the moving plunger in steel 5 and coils for closing 3 and opening 6.

The magnetic field lines drawn in the figure help to explain the function of the actuator. In the position shown, the plunger at the »top« (open position) together with the iron core forms a path of low magnetic resistance for the field of the permanent magnets. In contrast, the large gap at the bottom of the plunger represents a high magnetic resistance. The field lines therefore run almost exclusively through the end of the plunger which is in contact. The high concentration of field lines produces a large retaining force at this point.

This retaining force is transmitted via the lever shaft (1 in figure 2) directly onto the contacts in the vacuum interrupter. The contact springs serve to compensate for contact burn-off after interruption of high short circuit currents. With the vacuum interrupter in the closed position, high contact forces are necessary, as otherwise the currents occurring in the case of a short circuit could inadvertently open the contacts.

Only the permanent magnets are needed to generate the retaining forces. The coils are only required for switching. Fi-

gure 3b shows this using the example of a closing operation: the additional magnetic energy of the lower coil compensates for the high magnetic resistance of the gap, diverting the field lines of the permanent magnets more and more towards the lower path. The retaining force at the »top« declines, while the attraction at the »bottom« increases. When a certain level of current in the coil is exceeded, the plunger moves. Figure 3b is an instantaneous representation of the field lines shortly before the plunger starts to move. When the limit position is securely reached, the coil current is interrupted. A field line distribution equivalent to that in figure 3a is established, but this time with the plunger in the other limit position.

Emergency manual breaking operations are also possible using a special crank. The crank engages directly with the armature (7 in figure 2), and thus bypasses all intermediate transmission components.

The function of the actuator can be described as that of a bistable position switch which requires no mechanical control or latching functions. With such a system, 100,000 operating cycles can easily be reached. Apart from long-term switching capability, importance was attached above all to durability. The permanent magnets in neodymium-iron-boron (NdFeB) are particularly worthy of mention. With the relatively low operating temperature (max. 80 °C) and the very weak opposing fields, the material is practically free from ageing. Extrapolation of the manufacturer's data thus indicates that even at significantly higher temperatures a loss of 1 % of the remanent induction is only to be expected after 100 years. A coating protects the surface from corrosion.

### Control of the actuator

The fully electronic power supply and control unit for the circuit breaker has to fulfil all the functions familiar from conventional mechanical operating mechanisms with auxiliary switches. In addition it provides and monitors the energy for switching the actuator (figure 4).

A power pack 3 with an input voltage range of either 17 to 66 V DC (AC: 17 to 48 V) or 85 to 260 V AC/DC provides a constant operating voltage of 80 V, independently of the stability and quality of the auxiliary voltage applied. Time-consuming adjustment of the equipment in the breaker to match the client's supply voltages is therefore no longer necessary. Undervoltage and overvoltage have no effect on switching times. On failure of the auxiliary voltage, the storage capacitor ensures that a breaking operation is possible for a further 2 minutes.

This electrolytic capacitor provides the surge power of up to 3000 W required for excitation of the opening and closing coils 1 in the actuator. It stores the electrical energy of less than 200 J for a complete O-CO operating cycle. After such an operating cycle, the capacitor recharges within approx. 10 s with a peak current of max. 2 A. Modern electrolytic capacitors are of very high quality and have a long life expectancy. Even at a relatively high operating temperature of 55 °C, the service life is still over 30 years.

Power semiconductors, in this case a combination of MOSFET transistors and thyristors, control the current for on and off switching of the actuator. The switching voltage induced by the inductivity of the coils on interruption of the current are reduced by parallel free-wheeling diodes to such an extent that they have no further influence on the semiconductor components. Generous dimensioning of the components ensures a maximum of quality and long life, as numerous tests have demonstrated.

A permanently programmed logic module controls the circuit breaker. Switching commands are only executed taking account of the switch position, which is detected by two inductive proximity sensors (5), and the charging condition of the storage capacitor. In the open position, for example, there must be sufficient charge available for a complete CO switching operation. The controller also blocks a

closing operation if an opening command is active at the same time, or prevents a second closing operation if an opening operation has been performed while a closing command is active. The proximity sensors detect impermissible intermediate positions, e.g. failure to reach a limit position, and signal these.

Four inputs and five outputs, which are electrically isolated for 2.5 kV, form the interface to a panel or station automation system. The binary inputs with an internal resistance of 300 kΩ can be activated with 20 to 250 V AC/DC. The binary outputs signal switching conditions and handle switching voltages up to 400 V DC or 280 V AC at a continuous current of max. 0.5 A. The EMC compliance of the power pack and controller has been demonstrated in accordance with IEC 1000-4-x by various switching capacity tests and extreme voltage tests with and without flashover.

#### Fundamental structure of the switching device

The new circuit breaker of type VM1 is fully compatible with its predecessor, the VD4 circuit breaker. This facilitates direct replacement in panels, taking account of course of the specific electrical connection conditions which result from the removal of the conventional auxiliary switches. The mechanical switch position in-

dicator directly controls two inductive proximity switches for the open and closed positions.

Figure 2 contains a schematic diagram of the structure of the breaker and a section through the embedded pole part. With the embedding, no special mountings are required for the vacuum interrupter or the terminals. Here too, the small number of detachable components significantly reduces the failure potential in relation to assembled pole parts. The mechanical strength of the pole parts has been demonstrated in extensive climate and temperature cycle tests (-30 to + 105 °C). Complex electrical and mechanical tests have been performed to demonstrate resistance to ageing in operation.

The circuit breaker is available with an actuator and two pole part variants for the following performance data, which have been demonstrated to IEC 694 and 56:

Rated voltage	Rated current	Breaking current
12 kV	630 / 1250 A	25 kA
17.5 kV	630 / 1250 A	20 kA
24 kV	630 / 1250 A	20 kA

#### Prospects

The new circuit breaker of type VM1 represents a remarkable leap forward in quality. With the permanent magnet actuator and without sensitive latching and control components, the operator now has a maintenance-free switching device. Further breakers with higher rated data will extend the range in the near future, making an entire family of magnet-operated, low cost breakers available. With the use of pole parts embedded in cast resin, the way forward has been prepared for even more compact circuit breakers for use in switchgear installations of minimum dimensions.

These maintenance-free components, in conjunction with the integrated intelligence for control and diagnosis, and in future also for measurement and protection, ensure reliable, continuous operation. Favourable experience with the new VM1 circuit breaker in service has already been gained, by a major client in the chemicals industry among others. The technical solution presented here shows that even with a highly developed switching device like the vacuum circuit breaker, the symbiosis of the familiar vacuum switching technology [3] with a new magnetic operating mechanism system and embedding of the vacuum interrupters represents the implementation of innovative development strategies and a further optimisation of customer benefit.

#### Literature

- [1] *Minovic, M.*: Schaltgeräte: Theorie und Praxis. Hütlig und Pflaum Verlag München/Heidelberg, 1977.
- [2] *Mckean, B.; Kenworthy, D.*: Bistable magnetic actuator. World patent application WO 95/07542, 1994.
- [3] *Fink, H.; Gentsch, D.; Pilsinger, G.; Shang, W.*: Vakuumschaltkammern für zuverlässige Mittelspannungsschaltgeräte. *Elektrizitätswirtschaft* 96 (1997), H. 14, S. 749-752.

(27423e)