

VACUTAP® Technologie

Neuer Standard für Betreiber von Regeltransformatoren

VACUTAP®



1 Vakuumschalttechnologie

Die Vakuumschalttechnologie hat sich im Laufe der beiden letzten Jahrzehnte in den Bereichen Mittelspannungs-Schaltanlagen und leistungsstarker Schütze zur dominierenden Schalttechnik entwickelt. Weltweit werden heute im Mittelspannungsbereich über 60% des Leistungsschalter-Bedarfes mit Vakuumschaltern abgedeckt.

Auch auf dem Gebiet der Regeltransformatoren wächst die Bedeutung der Vakuumschalttechnik aus einer Reihe von Gründen:

Die mit dem steigenden elektrischen Energiebedarf in Ballungszentren einhergehende Notwendigkeit, Transformatoren in Gebäuden unterzubringen, schafft einen Bedarf an Regeltransformatoren mit reduzierten Brandlasten. Auch aus Sicht des Gewässerschutzes sind Regeltransformatoren gefragt, die ohne Mineralöl als Isolier- oder Schaltmedium auskommen.

Neben gasisolierten Transformatoren, die hauptsächlich in Japan eingesetzt werden, erfüllen Trockentransformatoren und Transformatoren mit alternativen Isolierflüssigkeiten, diese immer häufiger gestellten Anforderungen.

Für die Regelung derartiger Transformatoren sind die klassischen Laststufenschalter wenig geeignet, da die Verwendung von Mineralöl als Schaltmedium aus obigen Gründen unerwünscht ist und darüber hinaus zu insgesamt technisch aufwendigen Lösungen führen würde.

Auch für die Realisierung der von Anwendern in zunehmendem Maße geforderten und erwarteten Eigenschaften, wie

- geringe Störanfälligkeit
- extrem hohe Verfügbarkeit des Regeltransformators
 - > geringer Wartungsumfang
 - > geringe Wartungshäufigkeit
- geringe Wartungskosten

bietet die Vakuumschalttechnik, wie nachfolgend erläutert, die besten Voraussetzungen. Hierbei kommt der Vakuumschaltröhre insbesondere zugute, dass sie als hermetisch abgeschlossenes System trotz des auftretenden Lichtbogens keine Wechselwirkung mit dem umgebenden Medium aufweist und dass ein Hochvakuum von Haus aus optimale Voraussetzungen für eine extrem schnelle Wiederverfestigung der Schaltstrecke nach dem Stromnulldurchgang liefert.

Inhalt

1	Vakuumschalttechnologie	2
2	Eigenschaftsprofil der Vakuumschalttechnik	3
3	Umsetzung der Vakuumschalttechnologie für den Laststufenschalter (OLTC)	3
4	Laststufenschalter VACUTAP® VV mit Vakuumschaltröhren	4
5	Der neue Laststufenschalter VACUTAP® VR mit Vakuumschaltröhren	7

2 Eigenschaftsprofil der Vakuumschalttechnik

Der Siegeslauf der Vakuumschalttechnologie wurde möglich durch eine Reihe technischer Merkmale, die der Vakuumschaltröhre im Nieder- und Mittelspannungsbereich eine deutliche Überlegenheit über konkurrierende Schalttechnologien verleihen.

Im Einzelnen sind hier zu nennen:

- der Vakuumlichtbogen hat - verglichen mit Öl- oder SF₆- Lichtbogen - eine deutlich geringere Brennspannung.
 - > geringer Energieumsatz beim Abschaltvorgang
 - > geringer Kontaktabbrand
- der infolge der niedrigen Lichtbogen-Brennspannung ohnehin schon geringe Materialabtrag der Schaltkontakte wird durch eine hohe Rückkondensationsrate des Metaldampfplasmas auf den Kontaktoberflächen weiter reduziert.

Die Kombination beider Effekte führt zu einer wesentlich höheren Kontaktlebensdauer, als es z. B. OLTC-Anwender von in Öl arbeitenden Wolfram/Kupfer-Abbrandkontakten gewohnt sind.

- Infolge der hermetisch abgeschlossenen Schaltkammer entfällt bei der Vakuumschalttechnologie jeder Kontakt des Lichtbogens mit einem Löschmittel. Somit sind die Schalteigenschaften unabhängig vom Umgebungsmedium.

Daraus resultiert eine Reihe von Vorteilen:

- keine Löschmittelersetzung
 - > keine Rußerzeugung bei Einsatz unter Isolieröl
 - > keine Ölfilteranlage erforderlich
 - > problemlose Entsorgung
- keine Löschmittelalterung
 - > gleichbleibendes Schaltvermögen über die gesamte Lebensdauer der Vakuumschaltröhre.

Die Vakuumgüte in der Röhre wird bei Schaltvorgängen sogar noch verbessert, weil das vom Lichtbogen erzeugte Metaldampfplasma aus Kontaktmaterial freie Gasmoleküle bindet (Getterwirkung).

- keine Oxidation der Kontaktoberflächen
 - > gleichbleibend gute Kontaktübergangs-Widerstände
- Die außerordentlich schnelle Wiederverfestigung der Vakuumschaltstrecke von bis zu 10 kV/μs garantiert kurze Lichtbogenzeiten von maximal einer Halbwelle auch bei großen Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung und bei Spezialanwendungen (Stromrichtertransformatoren) mit hohem dU/dt nach dem Stromnulldurchgang.
- Vakuumschaltröhren benötigen nur geringe Schalthöhe. Dieser Sachverhalt ermöglicht einen vergleichsweise einfachen Antrieb mit niedrigen Energieanforderungen.

3 Umsetzung der Vakuumschalttechnologie für den Laststufenschalter (OLTC)

Definition:

VACUTAP®: OLTC mit Vakuumschaltröhren

OILTAP®: herkömmlicher OLTC mit Ölschalttechnik

Das in Summe außerordentlich attraktive Eigenschaftsprofil der Vakuumschalttechnik hat MR veranlasst, neue auf dieser Technologie basierende Laststufenschalterlinien zu entwickeln.

Gefördert wurde diese Entscheidung durch die Tatsache, dass Vakuumschaltröhren nach einem mehr als 2 Jahrzehnte andauernden Weiterentwicklungsprozess heute eine hohe technische Reife erlangt haben und dank moderner pumpenstengelloser Verschlusslöttechnik im Vakuumofen so kompakt geworden sind, dass ein platzsparender Einbau innerhalb der Außenkontur konventioneller OLTC-Konstruktionen möglich ist.

Aufbauend auf dieser Technologie wurde von MR die Entwicklung von Vakuumschaltröhren für den Einsatz in Laststufenschaltern betrieben.

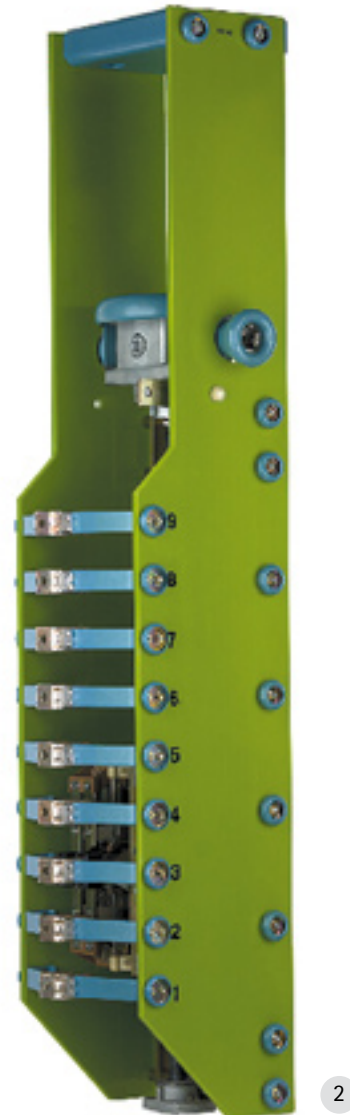
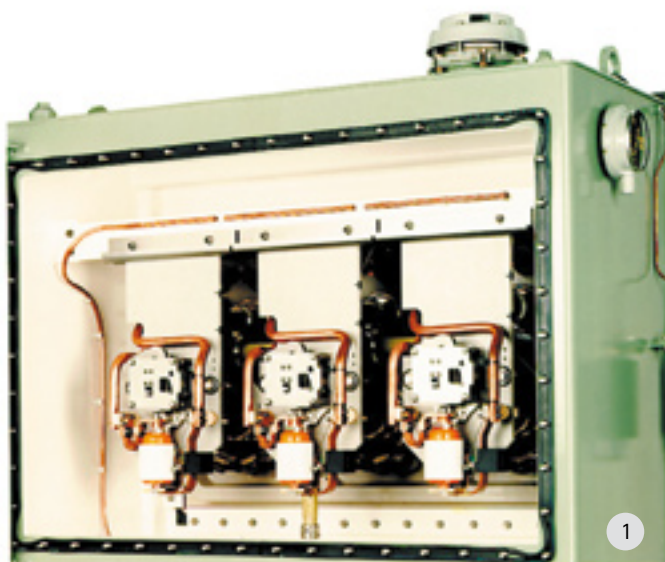
Dabei standen neben der Baugröße die Parameter mechanische Lebensdauer unter Öl im geforderten Temperaturbereich sowie Schaltverhalten und Kontaktabbrand im Vordergrund.

So wurden - um nur einige Merkmale zu nennen - Kontaktmaterial/-geometrie, Dampfschirm und Anschlussbolzen optimiert.

Diese Maßnahmen stellen einen zuverlässigen Betrieb und hohe zulässige Schaltzahlen, sowie niedrige Abreißströme von im Mittel 3 A sicher.

MR baut seit Mitte der 80er Jahre Reaktor-Laststufenschalter mit Vakuumschaltröhren für den amerikanischen Markt. Diese OLTCs sind als Anbauswitcher ausgeführt und mit Isolieröl gefüllt. Anstelle eines Überschaltwiderstandes kommt eine Überschaltdrossel zum Einsatz.

Von VACUTAP® RMV (Bild 1 und 4) sind bereits 6.500 Laststufenschalter mit insgesamt 19.500 Vakuumschaltröhren in Betrieb.



Insbesondere bei Industrieanwendungen (Elektroschmelze) mit extrem hohen Schaltzahlen (>100.000/Jahr) hat die Vakuumschaltröhre ihre Betriebssicherheit und Überlegenheit zur Ölschaltstrecke unter Beweis gestellt.

Im Jahre 1995 hat die MR ihren ersten Widerstandsschnellschalter mit Vakuumschalttechnik, den VACUTAP® VT 500 (Bild 2) auf den Markt gebracht.

Dieser Laststufenschalter wurde konzipiert für die Regelung von Trockentransformatoren und arbeitet in Luft. Inzwischen sind ca. 1.000 einphasige Einheiten mit 3.000 Vakuumschaltröhren ausgeliefert und erfolgreich in Betrieb.

Basierend auf den gewonnenen hervorragenden Betriebserfahrungen mit Vakuumschaltröhren und den mit dieser Technik für den Anwender verfügbaren Fortschritten im Betriebsverhalten, ist bei MR die konsequente Umsetzung der Vakuumschalttechnologie auf weitere Produktsegmente heute bereits erfolgt.

4 Laststufenschalter VACUTAP® VV mit Vakuumschaltröhren

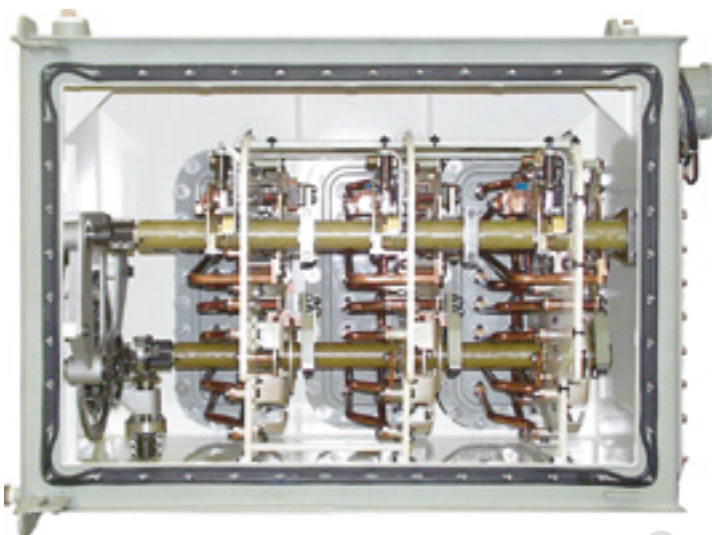
Neben VACUTAP® AVT (Bild 3) für Trockentransformatoren im unteren Leistungssegment für den chinesischen Markt und VACUTAP® RMV-A (Bild 4) zur Komplettablösung der Reaktorschalter in Ölschalttechnik, erfolgte mit dem VACUTAP® VV der Einstieg in das Segment Widerstandsschnellschalter als Einbautyp. Seit dem Jahr 2000 wurden bereits 2.100 Geräte mit 12.600 Vakuumschaltröhren installiert.

Der VACUTAP® VV (Bild 5) erinnert äußerlich an die konventionellen Laststufenschalter OILTAP® V oder H. Im Falle des OILTAP® V oder H erfolgen der Wähl- und der Schaltvorgang gleichzeitig (Lastwählerprinzip).

Dagegen wird bei VACUTAP® VV ein stromloses Ein- und Ausschalten der Wählerkontakte dadurch sichergestellt, dass unmittelbar vor dem Öffnungsvorgang eines strombelasteten Wählerzweiges die jeweils in Reihe liegende Vakuumschaltröhre den in diesem Zweig fließenden Strom unterbricht.



3



4



5

Das Wiedereinschalten des Wählerzweiges erfolgt unmittelbar nach dem stromlosen Auflaufen des Wählerkontaktes auf den benachbarten Festkontakt ebenfalls durch die zugehörige Vakuum-schaltröhre.

Obwohl der äußere Aufbau ohne separaten Wähler zunächst dagegen spricht, wird infolgedessen VACUTAP® VV funktionsmäßig dem Laststufenschalter, bestehend aus Lastumschalter und getrenntem Wähler zugeordnet.

In Bild 6 ist das Schaltbild und die bei Durchführung einer Schaltung von Anzapfung 1 auf Anzapfung 2 ablaufende Schaltsequenz dargestellt (Schaltschritt 1-9).

Der VACUTAP® VV besitzt zwei Schaltzweige: einen Hauptzweig mit der Vakuumschaltröhre MSV und dem in Reihe liegenden Wählerkontakt MTS sowie einen Widerstandszweig, der die Vakuum-schaltröhre TTV, den in Reihe liegenden Wählerkontakt TTS und den Überschaltwiderstand R umfasst.

In den Grundpositionen (Schaltschritt 1 bzw. 9) sind beide Vakuumschaltröhren geschlossen und somit spannungsmäßig entlastet.

Die Schaltung beginnt mit dem Ablafen des Wählerkontaktes TTS vom Festkontakt der Anzapfung 1 (Schaltschritt 1 -> 2). Wegen der Überbrückung des Widerstandszweiges durch den Hauptzweig fließt trotz geschlossener Röhre TTV kein Strom über den Widerstandszweig.

TTV öffnet (Schaltschritt 3) noch vor Auftreffen von TTS auf dem Festkontakt der Anzapfung 2 (Schaltschritt 4), weil andernfalls der Wählerkontakt TTS den Kreisstrom einschalten würde, was infolge von Vorüberschlagslichtbögen eine geringe Ölverrußung zur Folge hätte.

Daher erfolgt das Einschalten des Kreisstromes durch die Vakuumschaltröhre TTV (Schaltschritt 5).

Anschließend öffnet MSV (Schaltschritt 6) und kommutiert den Laststrom auf die Anzapfung 2 und den Widerstandszweig. Gleichzeitig wird der Kreisstrom unterbrochen.

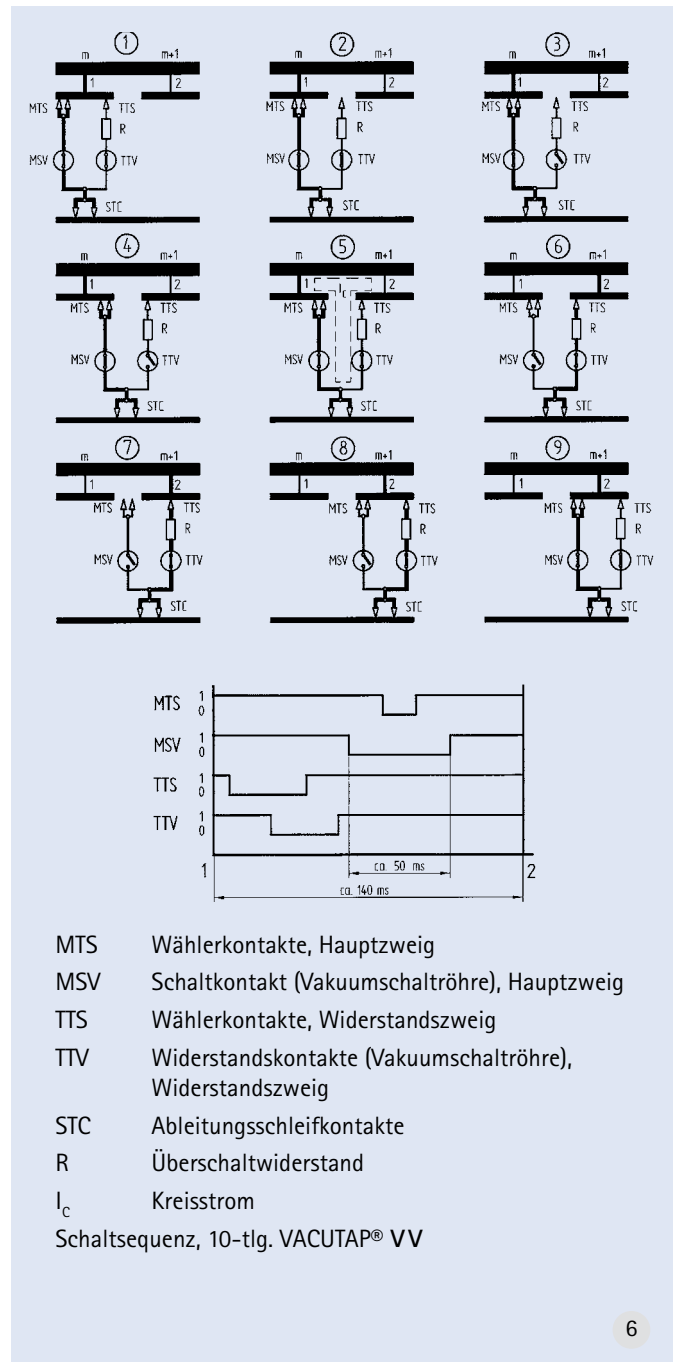
Der Wählerkontakt MTS wechselt nun stromlos vom Festkontakt der Anzapfung 1 auf den Festkontakt der Anzapfung 2 (Schaltschritte 7, 8).

Mit dem Schließen der Vakuumschaltröhre MSV und der dadurch erfolgenden strommäßigen Entlastung des Widerstandszweiges ist die Umschaltung beendet und die neue Grundposition erreicht (Schaltschritt 9).

Alle Schaltungen in der gezeigten Richtung (m -> m + 1), hier als „höher“ definiert, laufen in der beschriebenen Weise ab.

Alle Schaltungen in Richtung „tiefer“ durchlaufen die beschriebene Schaltsequenz in umgekehrter Reihenfolge 9 -> 1.

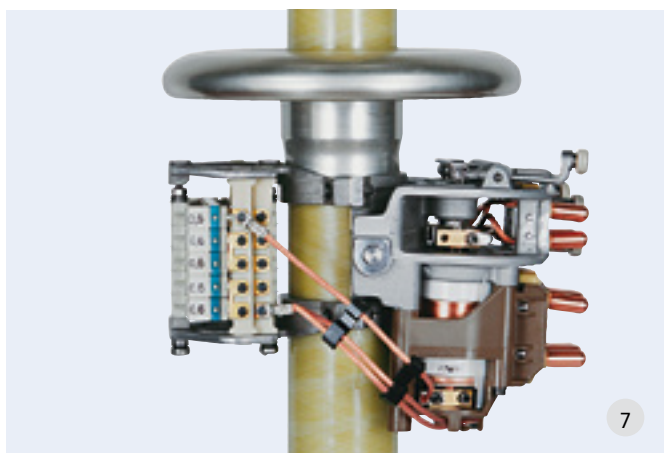
Die dargestellte Schaltsequenz gilt für den 10-teiligen VACUTAP® VV. Im Falle des 12-teiligen VACUTAP® VV ist der Abstand der Festkontakte geringer, so dass hier auf den Grundstellungen der Wählerkontakt TTS nicht auf dem Festkontakt aufgeschaltet ist. Ansonsten läuft der Umschaltvorgang in der beschriebenen Weise ab. Die beiden Schaltstrecken an denen spannungsmäßig die Regelbereichsspannung auftreten kann, sind auch beim 12-teiligen



VACUTAP® VV in gleicher Weise ausgeführt wie beim 10-teiligen VACUTAP® VV.

Bild 7 zeigt ein einphasiges Schaltelement des VACUTAP® VV. Ausführung und Anordnung der vorbeschriebenen Kontakte, Vakuumschaltröhren und des Überschaltwiderstandes sind wie folgt erkennbar:

- Fingerkontakte links oben: Ableitungskontakt STC.
- Fingerkontakte links unten: Wählerkontakt im Hauptzweig MTS. Der Wählerkontakt im Widerstandszweig TTS befindet sich nicht sichtbar in der Ebene hinter MTS.
- Zwischen MTS und Schaltersäule ist die Vakuumschaltröhre MSV in axialer Anordnung erkennbar. Die Röhre TTV befindet sich nicht sichtbar in der Ebene hinter MSV.
- Rechts von der Schaltersäule ist die Seitenansicht der Halterahmen für den Überschaltwiderstand erkennbar. Hier kommen die bewährten, aus mäanderförmigen Widerstandsbändern aufgebauten Überschaltwiderstände zum Einsatz, die auch im konventionellen OLTC-Programm der MR verwendet werden.



Es ist bekannt, dass Vakuumschaltröhren bis zu 50 ms nach abgeschlossenem Löschvorgang wieder durchzünden können und bis zum nächsten Stromnulldurchgang leitend bleiben, wenn lose haftendes Abbrandmaterial durch Erschütterungen und elektrische Feldkräfte zwischen den spannungsbeaufschlagten Schaltkontakten der Vakuumschaltröhre bewegt wird. Dieses Phänomen nennt man Spätversager oder late restrike. Bezogen auf die Zahl durchgeführter Abschaltungen beträgt die Eintrittswahrscheinlichkeit wenige ppm.

Im Falle des VACUTAP® VV öffnet beim Abschaltvorgang der Wählerkontakt unmittelbar nach Verlöschen der Vakuumschaltröhre (siehe Schaltschritte 6 → 7 (Richtung „höher“); 8 → 7, 4 → 3 (Richtung „tiefer“) im Schaltablauf), so dass diese spannungsmäßig freigeschaltet ist. Spätversager und die daraus resultierende Gefahr von Stufenkurzschlüssen können nicht auftreten.

Zur Überwachung des Laststufenschalters wird das bewährte Ölströmungsschutzrelais RS 2001 eingesetzt, das in gewohnter Weise in den Auslösestromkreis des Leistungsschalters einzuschleifen ist. Infolge der fehlenden Gaserzeugung durch betriebsmäßige Schaltlichtbögen in Öl kann im Falle des VACUTAP® VV das Ölströmungsschutzrelais so abgestimmt werden, dass bereits Fehlfunktionen mit relativ kleinem Energieumsatz zu einem Ansprechen des RS 2001 führen.

Der innovative Einsatz der Vakuumschaltechnologie im Widerstandsschnellschalter VACUTAP® VV bietet dem Anwender – verglichen mit dem konventionellen OILTAP® V oder H – eine gesteigerte zeitliche Verfügbarkeit des Transformators, die aus folgenden Sachverhalten resultiert:

- wartungsfrei bis zu 300.000 Schaltungen
→ keine zeitlichen Inspektionsintervalle
→ wartungsfrei für praktisch alle Netzanwendungen
→ signifikante Reduzierung der Lebensdauerkosten

VACUTAP® VRx	seit 2004 I_{um} (A)			seit 2006 I_{um} (A)			U_{im}	Wähler	$U_{m\ max}$ (kV)	Vergleichbarer OILTAP®
VRC I	401	551	701	1001	1301		3,3 kV	Typ M	300	M I 351, M I 501, M I 601, M I 802, M I 1203
VRC II	402	552	702							M II 352, M II 502, M II 602
VRC III	400	550	700							M III 350Y, M III 500Y, M III 600Y
VRE I			701	1001	1301		4,0 kV	Typ M	300	RM I 601, RM I 1201, RM I 1201, RM I 1201 (M I 1203)
VRE III			700							RM III 600Y
VRD I					1301		3,3 kV	Typ R	300	M I 1203 (R I 1201)
VRD III				1000	1300					R III 1200Y, R III 1200Y
VRF I				1001	1301	2600*				4,0 kV
VRF II					1302		R II 1202			
VRF III				1000	1300		R III 1200Y			
VRG I				1001	1301	2600*	4,0 kV	Typ R	362	R I 1201, R I 2402
VRG II					1302					R II 1202
VRG III				1000	1301					R III 1200Y

* erzwungene Stromteilung

Tabelle 1

5 Der neue Laststufenschalter VACUTAP® VR mit Vakuumschaltröhren

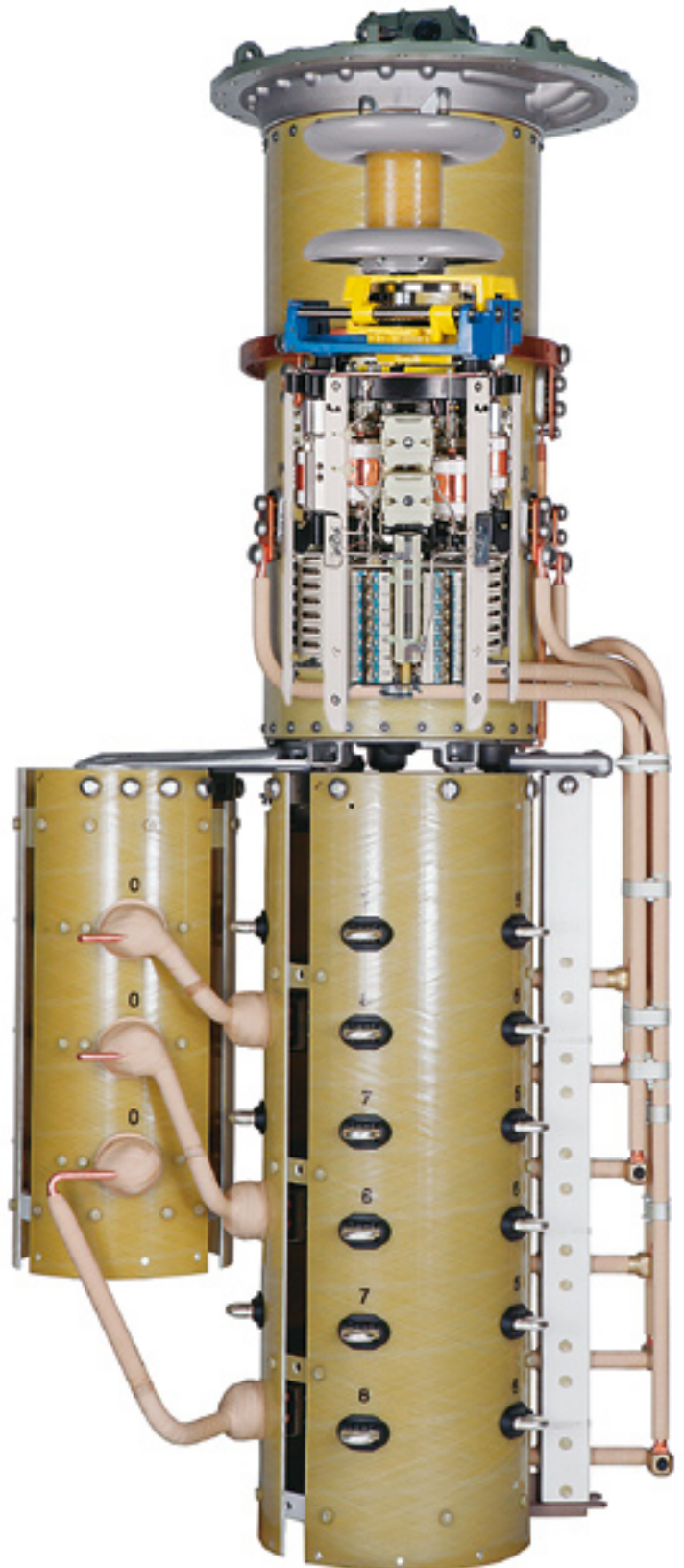
VACUTAP® VR – jetzt noch mehr Einsatzmöglichkeiten

Seit September 2004 liefern wir die Vakuum-Laststufenschalter VACUTAP® VRC/VRE 700 aus. Inzwischen haben sie sich weltweit im Einsatz bewährt. Ab dem dritten Quartal 2006 erweitern wir nun das Leistungsspektrum nach oben: mit dem neuen VACUTAP® VRD/VRF/VRG 1300 (Bild 8, Tabelle 1).

Das Ergebnis überzeugt: deutlich reduzierte Betriebskosten in Verbindung mit höchster Qualität und höchsten Umwelt- und Sicherheitsstandards.

Vorteile VACUTAP® VR:

- Erfahrungen mit der bewährten Vakuumschaltechnologie seit den 80er Jahren, d. h. 8.000 Stück VACUTAP® OLTC sind weltweit im Betrieb.
- Wartungsfrei bis zu 300.000 Schaltungen
 - > ohne zeitabhängige Wartung
 - > wartungsfrei für praktisch alle Netzanwendungen
 - > drastisch reduzierte Kosten über die Gesamtnutzungsdauer
 - > erhöhte Verfügbarkeit des Transformators
- Umweltfreundlich
 - > keine Ölverrußung: kein Abschaltlichtbogen im Isolieröl
 - > keine Ölfilteranlage
 - > verlängerte Lebensdauer des Isolieröls
- Ausgelegt für ausgewählte, alternative Isolierflüssigkeiten
- Erweiterte Anwendung des VACUTAP® VR für Spartransformatoren, für Regelung am Anfang der Dreieckwicklung, für HGÜ-Transformatoren sowie Hermetik-Transformatoren
- Ideal für Industrieanwendungen und Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen
- Vakuumschaltechnologie nun auch für fast das komplette OILTAP® R/RM und M-Programm
- Gleicher Durchmesser (740 mm) des Laststufenschalterkopfes; gleicher Durchmesser (478 mm) des Ölgefäßes wie bei OILTAP® M und RM – nur geringfügige Änderungen bei der Einbaulänge



Autor



Dr.-Ing. Dieter Dohnal
Leiter Technik

Ansprechpartner

Ihr Ansprechpartner für Fragen zur Applikation und weiteren Details zum Thema Vakuumschalttechnologie:



Dipl.-Wirt.-Ing. Bernhard Nick
Vertriebsleiter
Telefon +49 (0)941 4090-493
Fax +49 (0)941 4090-111
E-mail b.nick@reinhausen.com

