ABLEITSTROM FIBEL
LEAKAGE CURRENT PRIMER

Wissenskompendium
Knowledge compendium

Grundlagen Ableitstromtechnik

Fehlerstrom-schutzschalter

Ableitstrom-kompensation

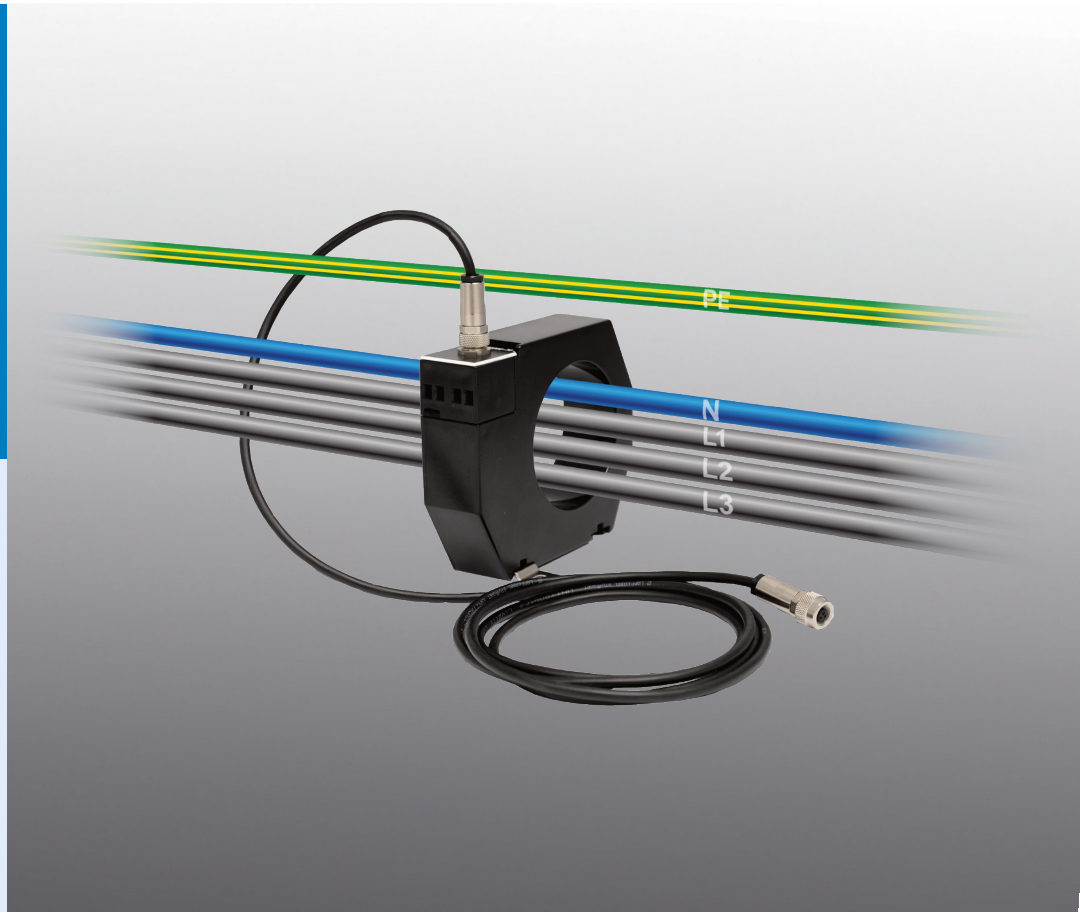
Schutzleiter-überwachung

Basics leakage current technology

Residual current circuit breaker

Leakage current compensation

PE conductor monitoring



EPA
www.epa.de

Inhalt | Content

Grundlagen 3

Ableitstrom messen 5

Fehlerstromschutzschalter 6

Ableitstrom reduzieren 8

Ableitströme an EMV-Filtern 10

Ableitstrom kompensieren 20

Zusammenfassung Ableitströme 23

Schutzleiter-
Überwachungsgerät PECON+ 24

Basics 3

Measure leakage current 5

Residual current circuit breaker 6

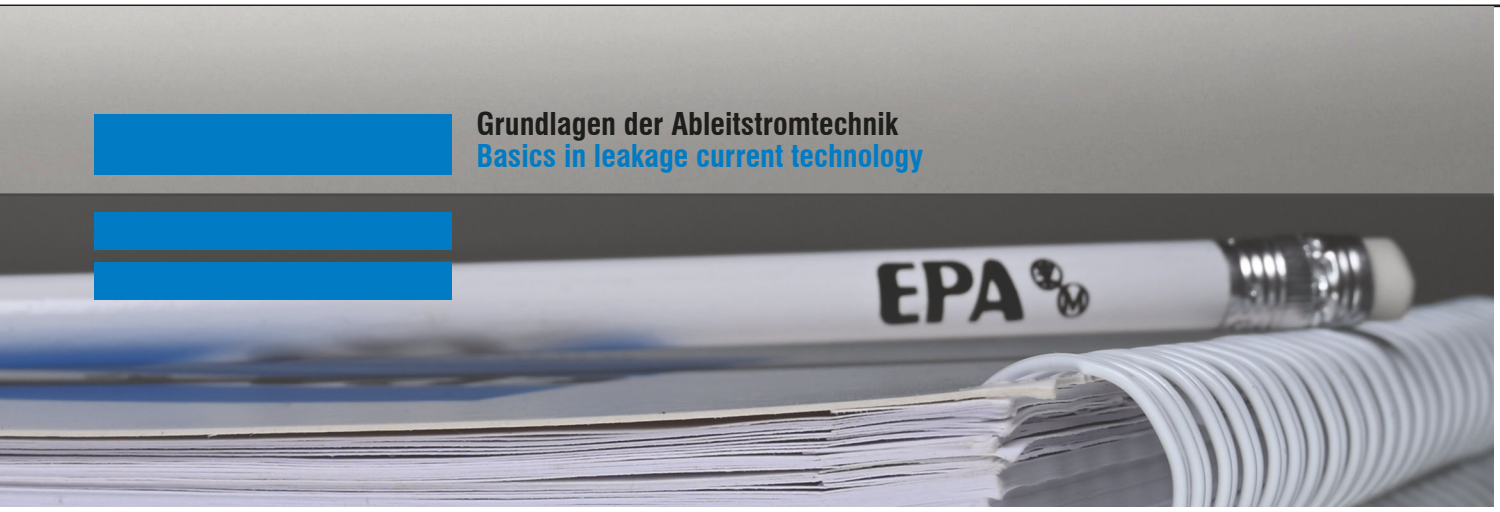
Reduce leakage current 8

Leakage currents on EMC filters 10

Compensate leakage current 20

Summary leakage currents 23

PE conductor
monitoring device PECON+ 24



Definition

Betriebsbedingter Ableitstrom ist definitionsgemäß der Strom in einem unerwünschten Strompfad unter üblichen Bedingungen. Also der Strom, der in fehlerfreien Geräten oder Anlagen über den Schutzleiter oder andere leitfähige Teile zum Erdpotenzial fließt.

Definition

Operational leakage current is by definition the current in an undesirable current path under normal conditions. In other words, the current that flows in fault-free devices or systems via the protective earth conductor or other conductive parts to the earth potential.

Ursachen

Um EMV-Störungen zu dämpfen, kommen Funkentstörfilter (EMV-Filter) zum Einsatz.

Ein EMV-Filter besteht in seiner einfachsten Ausführung aus LC-Tiefpässen, deren Kondensatoren in einer Sternschaltung zum Schutzleiter / Erdpotenzial geschaltet sind. Bei idealem Versorgungsnetz mit einer sauberen sinusförmigen Spannung ergibt die Summe aller kapazitiven Ströme durch die idealisierten Kondensatoren null. In der Praxis sind die Versorgungsnetze nicht „sauber“ und die realen Kondensatoren haben eine große Fertigungstoleranz. Auch andere störende Einflüsse von Geräten und Anlagen verzerren die Netzform. Alle diese Merkmale verursachen einen kapazitiven Gesamtstrom der ungleich null ist und somit fortwährend zum Schutzleiter / Erdpotenzial fließt.

Die Kommutierung an der B6-Brückenschaltung in der Eingangsschaltung eines 3-phasigen Frequenzumrichters bzw. Geräte mit einem ähnlichen DC-Zwischenkreis in Verbindung mit einem Y-Kondensator („internes EMV-Filter“) vom Zwischenkreis zum Schutzleiter / Erdpotenzial, generiert nicht unerhebliche Ableitströme. Bei dreiphasig betriebenen Systemen ist es überwiegend ein 150 Hz-Anteil, welcher abhängig von der Kapazität des Y-Kondensators ist.

Bei einphasig betriebenen Frequenzumrichtern bzw. Systemen (mit B4 Brücke), ist größtenteils ein 50 Hz-Anteil im Ableitstrom zu finden.

Im Prinzip sind diese Ströme gewollt und für die Anwendung selbst ggf. nützlich. Die EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) wird dadurch erhöht bzw. die Geräte entsprechen damit den gesetzlichen und normativen Vorgaben.

Auch über andere Strompfade, wie z. B. über die Kapazitäten langer abgeschirmter Leitungen, können Ströme über den Schutzleiter bzw. das Erdpotenzial abfließen.

Causes

Radio frequency interference filters (RFI filters) are used to attenuate EMC interference.

In its simplest form, an EMC filter consists of LC low-pass filters whose capacitors are connected in a star circuit to the protective earth conductor / earth potential. With an ideal supply network with a clean sinusoidal voltage, the sum of all capacitive currents through the idealised capacitors is zero. In practice, supply networks are not „clean“ and the capacitors that can be produced have a wide tolerance range. Other interfering influences of devices and systems also distort the network shape. All these features cause a total capacitive current which is not equal to zero and thus continuously flows to the protective conductor/earth potential.

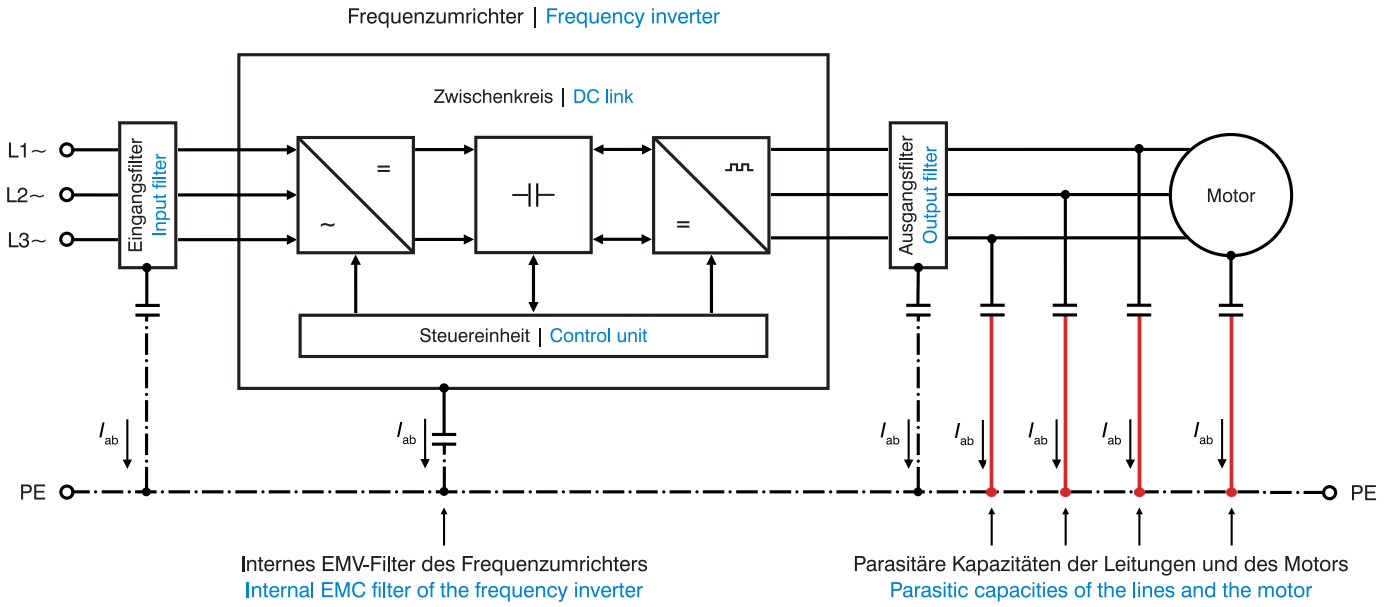
The commutation at the B6 rectifier in the input circuit of a three-phase frequency inverter - or devices with a similar DC link circuit in conjunction with a Y capacitor („internal EMC filter“) from the DC link circuit to the protective earth / ground potential, generates not inconsiderable leakage currents. In three-phase operated systems, it is predominantly a 150 Hz component, which is dependent on the capacity of the Y capacitor.

With single-phase frequency inverters or systems (with B4 rectifier), there is mostly a 50 Hz component in the leakage current.

In principle these currents are wanted and may be useful for the application itself. The EMC (electromagnetic compatibility) is thereby increased and the devices thus comply with legal and normative requirements.

Also via other current paths, such as the capacities of long shielded cables, currents can flow off via the protective earth conductor or the earth potential.

Ersatzschaltbild für ein Antriebssystem mit EMV-Filtern | Equivalent circuit diagram for a drive system with EMC filters



Höhe des Ableitstroms

Die betriebsbedingten Ableitströme in den diversen Anwendungen müssen unter bestimmten Bedingungen begrenzt bzw. ganz verhindert werden. So können hohe Ableitströme auf Leitungsschirmen und Masseteilen Beeinflussungen der Nutzsignale zur Folge haben. Gerade in der Gebäudeautomation, bei Brandmeldeanlagen, Kommunikationssystemen sowie Feldbussen sind folgenschwere, negative Beeinflussungen möglich. Auch können erhöhte Ableitströme Schutzeinrichtungen, wie z. B. Fehlerstromschutzschalter, zu fehlerhaften Auslösungen bringen. Die Folgen sind ggf. Produktionsausfälle, Anlagendefekte bedingt durch Kommunikationsfehler oder Fehlalarme von Brandmeldeanlagen.

Höhere Ableitströme beim Netzfilter sind meist in industriellen Anwendungen anzutreffen. Diese Filter und Anlagen werden im Regelfall mit entsprechenden Warn- und Erdungshinweisen versehen.
Bei dreiphasigen Netzfiltern (ohne Neutralleiter) tritt der höchste Ableitstrom dann auf, wenn nur ein Außenleiter und der PE mit dem Versorgungsnetz verbunden sind. Dieser Zustand entspricht dem einer Netzzuschaltung, da auch im Einschaltmoment nicht alle drei Phasen gleichzeitig zugeschaltet werden können. Bei der Verwendung einer Fehlerstromschutzeinrichtung kann diese im Einschaltmoment unerwünscht auslösen.

Auch dürfen z. B. ortsveränderliche Anlagen und Geräte mit einem Steckeranschluss, nach DIN EN 50178 / VDE 0160, lediglich einen Ableitstrom von maximal 3,5 mA AC oder 10 mA DC aufweisen (Messverfahren nach DIN EN 60990). In einem Fehlerfall (z. B. bei einer Unterbrechung / Abriss des Schutzleiters in der Anschlussleitung) kann der Ableitstrom nicht mehr fließen. Dadurch kann sich eine gefährliche Spannungserhöhung an berührbaren Metallteilen des Gerätes oder der Anlage einstellen.

Auch für medizinische Geräte (z. B. 0,5 mA gemäß DIN EN 60601-1) oder Maschinen (z. B. 10 mA AC oder DC gemäß DIN EN 60204-1) sind diese Werte festgelegt.

Level of leakage current

The operational leakage currents in the various applications must be limited or completely prevented under certain conditions. For example, high leakage currents on cable shields and grounding parts can have an effect on the useful signals. Especially in building automation, fire alarm systems, communication systems as well as fieldbuses, serious negative influences are possible. Increased leakage currents can also cause protective devices such as residual current circuit breakers to trip incorrectly. The consequences may be production losses, plant defects as a result of communication errors or false alarms from fire alarm systems.

Higher leakage currents with the line filter are often found in industrial applications. These filters and systems are usually provided with appropriate warning and earthing instructions.
With three-phase line filters (without neutral conductor), the highest leakage current occurs when only one phase conductor and the PE are connected to the supply network. This state corresponds to that of a mains connection, since even at the moment of switching on, not all three phases can be switched on at the same time. If a residual current device is used, it can trip unintentionally at the moment of switching on.

Portable systems and devices with a plug connection, for example, according to DIN EN 50178 / VDE 0160, may only have a leakage current of maximum 3.5 mA AC oder 10 mA DC (measuring method according to DIN EN 60990). In the event of a fault (e.g. if the protective conductor in the connecting cable is interrupted / broken), the leakage current can no longer flow. This can cause a dangerous voltage increase on touchable metal parts of the device or the system.

These values are also specified for medical devices (e.g. 0.5 mA according to DIN EN 60601-1) or machines (e.g. 10 mA AC or DC according to DIN EN 60204-1).

Ableitstrom messen

In der DIN EN 60990 / VDE 0106-102 wird ein Verfahren zur Messung von Berührungsströmen und Schutzleiterströmen beschrieben. Dieses normierte Verfahren dient vor allem dazu, die in anderen Normen (z. B. DIN EN 50178 / VDE 0160 oder DIN EN 60204-1 / VDE 0113-1) vorgeschriebenen Ableitstromgrenzwerte definiert abbilden zu können.

In der Gebäudetechnik und der Industrie kommen immer häufiger Fehlerstromschutzschalter mit normkonformen, aber trotzdem unterschiedlichen Auslöse-Charakteristiken zum Einsatz. Die modernen Komponenten in der Automatisierungstechnik (wie z. B. Frequenzumrichter, PV-Wechselrichter, EMV-Filter, Schaltnetzteile usw.) erzeugen systembedingt sowohl sehr hohe nieder-, als auch höherfrequente Ableitströme. Diese betriebsbedingten Ableitströme werden von den Schutzeinrichtungen unter Umständen als Fehlerstrom interpretiert, was häufig zu einem unsicheren Betriebszustand oder zur Abschaltung der Fehlerstromschutzeinrichtung führt.

Die Differenzstrommessung im Fehlerstromschutzschalter kann nicht zwischen den betriebsmäßigen Ableitströmen und echten Fehlerströmen unterscheiden.

In der Praxis kann man z. B. mit Hilfe von Stromzangen die Höhe der Differenz- bzw. Schutzleiterströme messen. Mit diesen Messungen kann man jedoch keine Aussage über die einzelnen Frequenzanteile dieser Belastung treffen. Die Beurteilungsmöglichkeit, in Bezug auf die Auslösekennlinie der verwendeten Fehlerstromschutzschalter (die Fehlerstromschutzschalter-Auslöseschwellen unterscheiden sich je nach verwendetem Typ und Hersteller) ist mit diesen Messungen ebenfalls nicht möglich.

Das Mess- und Analysesystem **LEAK**WATCH wurde speziell für die Messung von Ableitströmen nach dem Differenzstrom-Messverfahren entwickelt. Es bietet die Möglichkeit, das Messsignal direkt in Bezug auf die Auslösekennlinie aller namhaften im Markt erhältlichen Fehlerstromschutzschalter zu interpretieren. Mittels einer Auslastungsanzeige in Prozent und farblichen Ampeldarstellung erkennt man sofort den Auslastungsgrad der ausgewählten Fehlerstromschutzeinrichtung. Die Frequenzanalyse und eine Betrachtung der Effektivwerte einzelner Frequenzanteile sowohl im Einschaltmoment als auch im Betriebszustand der Maschine oder Anlage ergeben eine wertvolle Hilfestellung bei der Ableitstrombilanzierung und der Auswahl eventueller Filtermaßnahmen (z. B. ableitstromarme Netzfilter, Ableitstromreduktionsfilter und Ableitstromkompensation).

Somit ist das **LEAK**WATCH die optimale Lösung bei der Erstellung der Ableitstrombilanz und der daraus folgenden Beurteilung der Betriebssicherheit einer mit einem allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter des Typs „B oder B+“ abgesicherten Maschine oder Anlage.

Measure leakage current

DIN EN 60990 / VDE 0106-102 describes a method for measuring touch currents and protective conductor currents. This standardised method is primarily used to be able to map the leakage current limit values prescribed in other standards (e.g. DIN EN 50178 / VDE 0160 or DIN EN 60204-1 / VDE 0113-1) in a defined manner.

In building services engineering and industry, residual current circuit breakers with standard-compliant, but nevertheless different tripping characteristics are increasingly being used. The modern components in automation technology (such as frequency inverters, PV inverters, EMC filters, switching power supplies, etc.) generate both, very high level of low and high frequency leakage currents. These operational leakage currents may be interpreted by the protective devices as residual currents, which often leads to an unsafe operating state or to the shutdown of the residual current device.

The residual current measurement in the residual current circuit breaker cannot distinguish between the operational leakage currents and real fault currents.

In practice, the level of the residual or protective conductor currents can be measured, for example, with the aid of current clamps. However, these measurements cannot provide information about the individual frequency components of this load. It is also not possible to make an assessment with regard to the tripping characteristic of the RCDs used (the RCD tripping thresholds differ depending on the type and manufacturer used) with these measurements.

The measuring and analysis system **LEAK**WATCH was specially developed for measuring leakage currents using the residual current measuring method. It offers the possibility to relate the measurement signal directly to the tripping characteristic of all well-known residual current circuit breakers available on the market. By means of a capacity utilisation display in percent and coloured traffic light display, the degree of utilisation of the selected residual current device can be recognised immediately. The frequency analysis and a consideration of the effective values of individual frequency components both at the moment of switching on and in the operating state of the machine or system provide valuable assistance in leakage current balancing and the selection of possible filter measures (e.g. low leakage current line filters, leakage current reduction filters and leakage current compensation).

Thus, the **LEAK**WATCH is the optimal solution for the preparation of the leakage current balance and the subsequent assessment of the operational safety of a machine or system protected with an AC/DC sensitive residual current circuit breaker of type „B or B+“.

Fehlerstromschutzschalter

Die allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter der Typen EPA RCCB1, RCCB2 und RCCB2plus sind für den Einsatz in 50 Hz (60 Hz auf Anfrage möglich) Wechselstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln, wie z. B. Frequenzumrichtern, unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV), Schaltnetzteilen, Phasenanschnittsteuerungen (Sanftanlaufgeräte) sowie Thyristorsteuerungen bestimmt. Die Leistungselektroniken dieser Geräte erzeugen teilweise bipolare, pulsweitenmodulierte Spannungen am Ausgang, welche Schaltfrequenzen im Bereich von bis zu 20 kHz und höher aufweisen. Tritt nun ein Fehlerfall ein, können diese Betriebsmittel neben 50 Hz Wechselfehlerströmen und pulsierenden Gleichfehlerströmen auch glatte Gleichfehlerströme und Fehlerströme mit Mischfrequenzen verursachen. Die handelsüblichen Fehlerstromschutzschalter mit der Auslösecharakteristik A oder F (entsprechend der IEC 60755) können derartige Fehlerströme nicht korrekt erfassen. Eine ordnungsgemäße Auslösung des Fehlerstromschutzschalters ist nicht gewährleistet. Darüber hinaus kann die Auslösung eines Fehlerstromschutzschalters vom Typ A oder F mit Wechselfehlerstrom oder pulsierendem Gleichfehlerstrom von 50 Hz durch einen gleichzeitig vorhandenen glatten Gleichfehlerstrom negativ beeinflusst oder sogar verhindert werden.

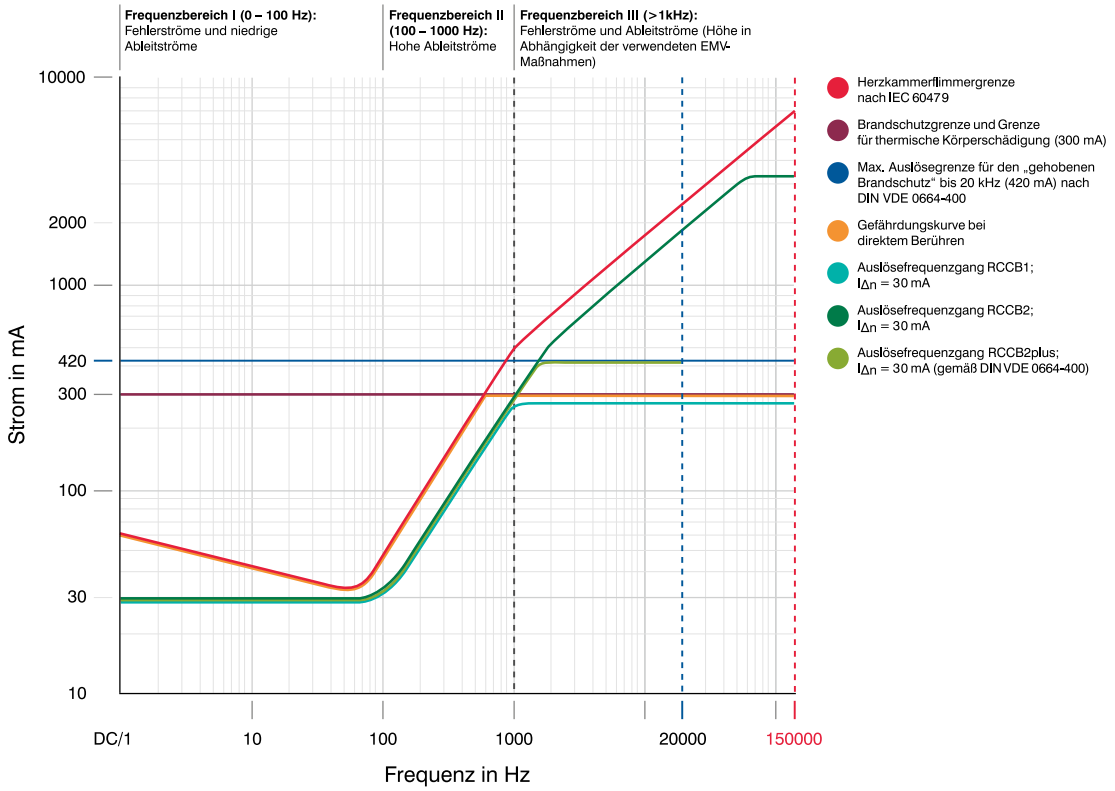
Die Fehlerstromschutzschalter der Reihe EPA RCCB erfassen alle Fehlerstromarten, entsprechend der Auslösecharakteristik B der Publikation IEC 60755; d. h. beispielsweise glatte und pulsierende Gleichfehlerströme werden zuverlässig erfasst. Alle Geräte des Typs EPA RCCB sprechen auch bei Wechselfehlerströmen mit allen Frequenzen und Mischfrequenzen bis 150 kHz an. Die Auslösecharakteristik ist nicht über den gesamten Auslösefrequenzbereich konstant, sondern weist je nach Bemessungsfehlerstrom und Schaltertyp einen unterschiedlichen Frequenzgang auf. Zur Vermeidung unerwünschter Auslösungen eines allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalters durch Ableitströme ist somit neben seinem Bemessungsfehlerstrom auch der Frequenzgang des Auslösestromes von Bedeutung.

Residual current circuit breaker

The AC/DC sensitive residual current circuit breakers of the types EPA RCCB1, RCCB2 and RCCB2plus are designed for the use in 50 Hz (60 Hz possible on request) AC systems with electronic equipment, such as frequency inverters, uninterruptible power supplies (UPS), switched-mode power supplies, phase-angle controls (soft starters) and thyristor controls. The power electronics of these devices generate partially bipolar, pulse-width modulated voltages at the output, which have switching frequencies in the range of up to 20 kHz and higher. If a fault occurs, these devices can cause not only 50 Hz alternating residual currents and pulsating DC residual currents, but also smooth DC residual currents and residual currents with mixed frequencies. The commercially available residual current circuit breakers with tripping characteristics A or F (according to IEC 60755) cannot detect such residual currents correctly. A proper tripping of the residual current circuit breaker is not guaranteed. In addition, the tripping of an A or F type RCD with an AC residual current or pulsating DC residual current of 50 Hz can be negatively influenced or even prevented by a simultaneously present smooth DC residual current.

The EPA RCCB series residual current circuit breakers detect all types of residual current according to the tripping characteristic B of publication IEC 60755; i.e. for example smooth and pulsating DC residual currents are reliably detected. All devices of the EPA RCCB type also respond to AC residual currents with all frequencies and mixed frequencies up to 150 kHz. The tripping characteristic is not constant over the entire tripping frequency range, but has a different frequency response depending on the rated residual current and switch type. To avoid undesired tripping of an AC/DC sensitive RCD by leakage currents, the frequency response of the tripping current is therefore important in addition to its rated residual current.

Gefährdungsgrenzen: Einsatz von allstromsensitiven Fehlerstromschutzschaltern

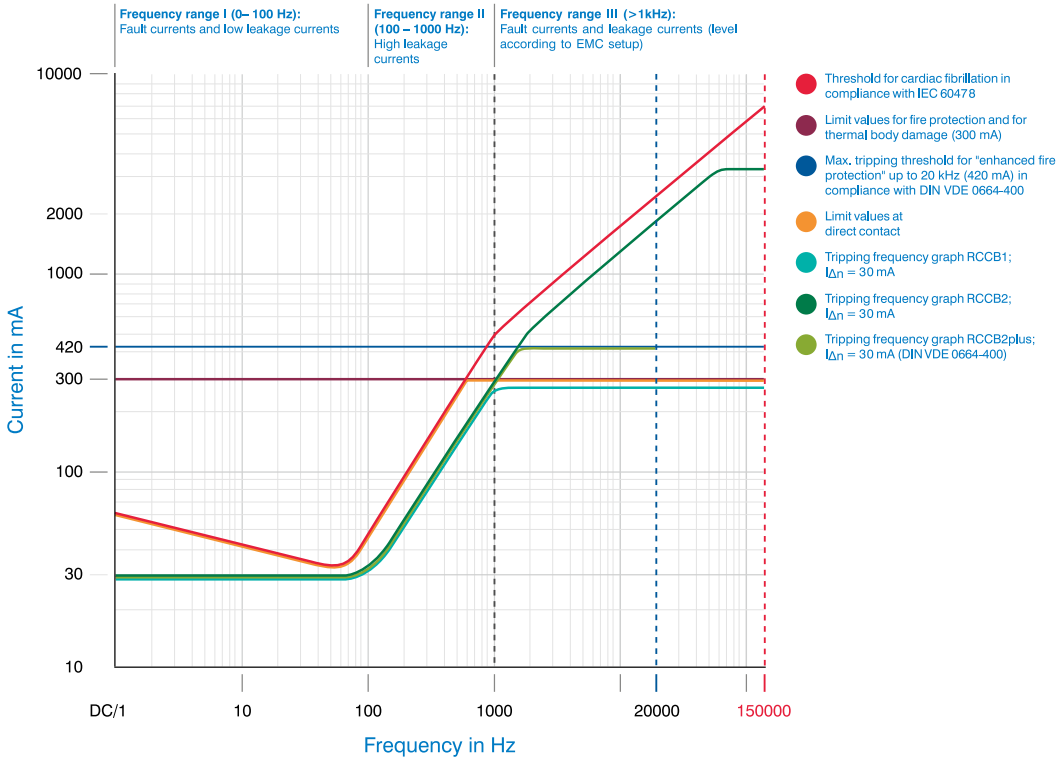


Quelle: Doepke Schaltgeräte GmbH: Technische Information 2018

In der DIN VDE 0100-30 ("Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 530: Auswahl und Errichtung von Betriebsmitteln - Schalt- und Steuergeräte") wird für Fehlerstromschutzschaltungen in Anlagen mit Betriebsmitteln, die einen glatten Gleichfehlerstrom verursachen können (z. B. Frequenzumrichter), der Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen Typ B oder B+ vorgeschrieben. Diese müssen z. B. auch bei vorbeugendem Brandschutz eingesetzt werden. Die Richtlinie VdS 3501 empfiehlt deshalb den Einsatz derartiger Schutzschalter.

DIN VDE 0100-530 ("Low-voltage electrical installations - Part 530: Selection and set up of electrical equipment - Switchgear and control gear") stipulates the use of type B or B+ residual current devices for residual current protection circuits in systems with equipment that can cause a smooth DC residual current (e.g. frequency inverters). These must also be used, for example, for preventive fire protection. The guideline VdS 3501 therefore recommends the use of such circuit breakers.

Hazard limits: Use of AC/DC sensitive residual current circuit breakers



Source: Doepke Schaltgeräte GmbH: Technical information 2018

Ein umfassender Schutz bei indirektem Berühren (Fehlerschutz) gemäß DIN VDE 0100-410 lässt sich mit den Typen EPA RCCB1 und RCCB2 auch dann noch verwirklichen, wenn elektronische Betriebsmittel Fehlerströme mit hoher Frequenz verursachen (z. B. ein Frequenzumrichter mit einer Taktfrequenz von 8 kHz). Der Erdungswiderstand ergibt sich dabei, nicht wie bei herkömmlichen Schaltern, aus der zulässigen Berührungsspannung und dem für 50 Hz definierten Bemessungsfehlerstrom, sondern aus der Berührungsspannung und dem Maximalwert des Auslösestromes im gesamten erfassten Frequenzbereich. Eine definierte obere Auslöseschwelle und ein lückenloser Auslösefrequenzgang machen dabei eine Festlegung des maximalen Erdungswiderstandes überhaupt erst sinnvoll möglich. Die Fehlerstromschutzschalterreihe RCCB1 mit einem Bemessungsfehlerstrom IΔn= 0,03 A ist auf größtmöglichen Schutzumfang bei geringer Neigung zu Fehlauslösung durch kapazitive Ableitströme optimiert. Der Frequenzgang des Auslösestromes verläuft deutlich unterhalb der im Report IEC 60479 definierten Gefährdungskurve, welche die Stromgrenzwerte für das Risiko eines tödlichen elektrischen Schlags in Abhängigkeit von der Frequenz angibt.
Die Extrapolation dieser Kurve über die Frequenz von 1 kHz hinaus und die Angaben zur thermischen Wirkung des Stromes auf den menschlichen Körper lassen den Schluss zu, dass die Grenze der Strombelastung bei höheren Frequenzen oberhalb von 0,3 A liegt. Die maximale Auslöseschwelle eines RCCB1 mit einem Bemessungsfehlerstrom IΔn= 0,03 A liegt für Frequenzen über 1 kHz unterhalb 0,3 A. Nach bisherigen Erkenntnissen ist dadurch über den gesamten Frequenzbereich bis 150 kHz ein Schutz bei direktem Berühren gegeben.

Comprehensive protection against indirect contact (fault protection) in accordance with DIN VDE 0100-410 can be achieved with the types EPA RCCB1 and RCCB2 even if electronic equipment causes residual currents with high frequency (e.g. a frequency inverter with a carrier frequency of 8 kHz). The earthing resistance is not, as with conventional switches, the result of the permissible touch voltage and the rated residual current defined for 50 Hz, but of the touch voltage and the maximum value of the tripping current in the entire frequency range covered. A defined upper tripping threshold and a complete tripping frequency response make it possible to determine the maximum ground resistance in a meaningful way. The RCCB1 series of residual current circuit-breakers with a rated residual current IΔn= 0.03 A is optimised for the greatest possible scope of protection with a low tendency to false tripping due to capacitive leakage currents. The frequency response of the tripping current is well below the hazard curve defined in the IEC 60479 report, which specifies the current limit values for the risk of fatal electric shock as a function of frequency.

Extrapolation of this curve beyond the frequency of 1 kHz and the data on the thermal effect of the current on the human body allow the conclusion to be drawn that the limit of current exposure at higher frequencies is above 0.3 A. The maximum tripping threshold of an RCCB1 with a rated residual current IΔn= 0.03 A is below 0.3 A for frequencies above 1 kHz. According to previous findings, this provides protection against direct contact over the entire frequency range up to 150 kHz.

Ableitstrom reduzieren

Betriebsbedingte Ableitströme können durch verschiedene Maßnahmen reduziert werden. EPA hat besonders ableitstromarme EMV-Filter im Sortiment. Sie zeichnen sich durch sehr geringe kapazitive Ableitungen aus, ohne die Dämpfung der EMV-Störungen zu verschlechtern. Unsere ableitstromarmen EMV-Filter LL (low-leakage) kommen dort zum Einsatz, wo z. B. Fehlerstromschutzeinrichtungen gefordert sind.

Steht der Neutralleiter im Versorgungsnetz zur Verfügung, können auch 3-Phasen EMV-Filter mit Neutralleiter zur Ableitstromreduktion genutzt werden. Die Hauptableitung bei diesen EMV-Filtern erfolgt über den Neutralleiter und spielt somit in der Differenzmessung der Schutzeinrichtung keine Rolle.

Reduce leakage current

Operational leakage currents can be reduced by various measures. EPA has particularly low leakage current EMC filters in its product range. They are characterised by very low capacitive leakage currents without impairing the attenuation of the EMC interferences. Our low leakage current EMC filters LL (low-leakage) are used where, for example, residual current protection devices are required.

If the neutral conductor is available in the supply network, 3-phase EMC filters with neutral conductor can also be used for leakage current reduction. The main leakage current in these EMC filters is redirected via the neutral conductor and thus plays no role in the differential measurement of the protective device.

Dreiphasenfilter: Ableitstromarmes Netzfilter NF-KC-LL
Three-phase filters: Low leakage line filters NF-KC-LL

Dreiphasenfilter mit Neutralleiter: Ableitstromarmes Netzfilter NF-4
Three-phase filters with neutral conductor: Low leakage line filters NF-4

Unsere Ableitstromreduktionsfilter, EPA NF-DAR in Dreiphasen und Dreiphasen mit Neutralleiter Technik, sind eine sehr wirkungsvolle Lösung gegen Taktfrequenz-Ableitströme mit Frequenzen zwischen 4 kHz und 20 kHz. Im Zusammenspiel mit bereits vorhandenen kapazitiven EMV-Filtermaßnahmen wirken diese Filter sehr effektiv.

Our leakage current reduction filters, EPA NF-DAR in three-phase and three-phase with neutral conductor technology, are a very effective solution against carrier frequency leakage currents with frequencies between 4 kHz and 20 kHz. In combination with capacitive EMC filter measures already existing these filters are very effective.

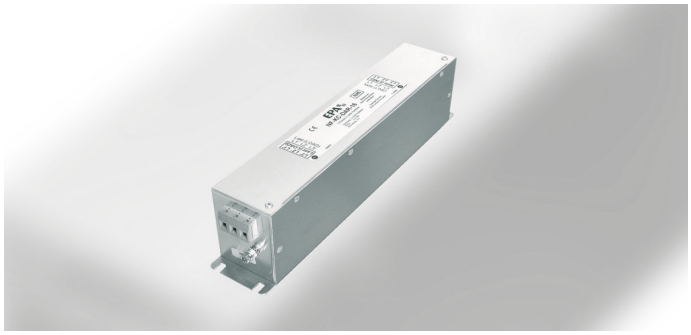
Dreiphasenfilter: Ableitstromreduktionsfilter NF-DAR-3
Three-phase filters: Leakage current reduction filters NF-DAR-3

Dreiphasenfilter mit Neutralleiter:
Ableitstromreduktionsfilter NF-DAR-4
Three-phase filters with neutral conductor:
Leakage current reduction filters NF-DAR-4

Befindet sich in der Maschine/Anlage noch keine Filtertechnik, ist unser kombinierter EMV- und Ableitstromreduktionsfilter NF-KC-DAR in Drei- und Dreiphasen mit Neutralleiter Technik eine sehr gute Möglichkeit, die EMV-Anforderungen mit gleichzeitiger Ableitstromreduktion im hochfrequenten Bereich zu erreichen. Das EMV-Filter ist optimal auf diese Anwendungen abgestimmt. Die Einhaltung der Grenzwerte für leitungsgebundene Störungen von 150 kHz bis 30 MHz nach EN 61800-3 Kategorie C2 oder EN 61000-6-4 (für industrielle Umgebung) ist bis zu einer 100 m langen Motorleitung möglich. Es entfaltet eine besonders gute, ableitstromreduzierende Wirkung vor allem bei den Taktfrequenzableitungen (üblicher Frequenzbereich 2 kHz bis 20 kHz).

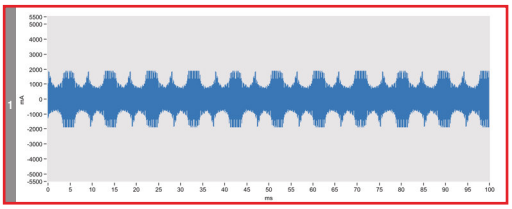
If no filter technology is yet available in the machine/system, our combined EMC and leakage current reduction filter NF-KC-DAR in three- and three-phase with neutral conductor technology is a very good way to achieve the EMC requirements with simultaneous leakage current reduction in the high-frequency range. The EMC filter is optimally matched to these applications. Compliance with the limit values for conducted interference from 150 kHz to 30 MHz according to EN 61800-3 category C2 or EN 61000-6-4 (for industrial environments) is possible up to a 100 m long motor cable. It has a particularly good leakage current-reducing effect, especially with carrier frequency derivatives (usual frequency range 2 kHz to 20 kHz).

Dreiphasenfilter: EMV- und Ableitstromreduktionsfilter NF-KC-DAR-3
Three-phase filters: EMC and leakage current reduction filters NF-KC-DAR-3



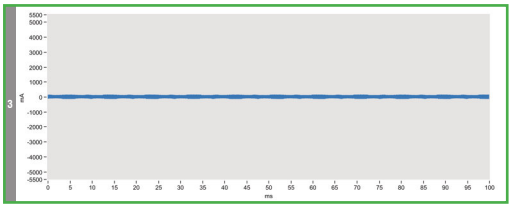
Dreiphasenfilter mit Neutralleiter:
EMV- und Ableitstromreduktionsfilter NF-KC-DAR-4
Three-phase filters with neutral conductor:
EMC and leakage current reduction filters NF-KC-DAR-4

Ableitstrom-Vergleichsmessungen | Leakage current comparison measurements 20 Hz - 100 kHz



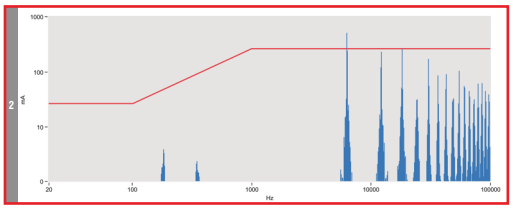
Ableitstrom gemessen über die Zeit | Leakage current measured related to time

Hoher Ableitstrom
→ Fehlerstromschutzschalter löst aus
High leakage current
→ RCD trips



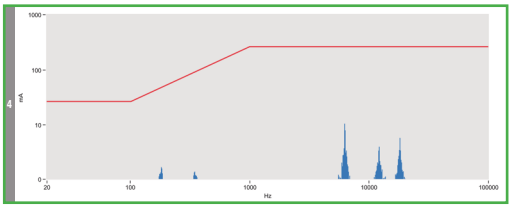
Ableitstrom gemessen über die Zeit | Leakage current measured related to time

Niedriger Ableitstrom
→ Fehlerstromschutzschalter hält
Low leakage current
→ RCD does not trip



Ableitstrom gemessen über die Frequenz | Leakage current measured related to frequency

Hoher Ableitstrom
→ Fehlerstromschutzschalter löst aus
High leakage current
→ RCD trips



Ableitstrom gemessen über die Frequenz | Leakage current measured related to frequency

Niedriger Ableitstrom
→ Fehlerstromschutzschalter hält
Low leakage current
→ RCD does not trip

Beispielmessung des Ableitstroms an einem Frequenzumrichter mit 50 m geschirmter Motorleitung (Taktfrequenz 6 kHz) ohne und mit NF-DAR bzw. NF-KC-DAR Filter
Example measurement of the leakage current with a frequency inverter on a 50 m shielded motor cable (switching frequency 6 kHz) without and with NF-DAR or NF-KC-DAR filter

Ableitströme an EMV-Filtern

Fehlerhaftes Abschalten von vorgeschalteten Fehlerstromschutzschaltern in dreiphasigen Versorgungsnetzen beim Einsatz von Netzfiltern in Maschinen und Anlagen

Für den sicheren Betrieb von Maschinen und Anlagen, welche Frequenzumrichter, Servoregler, Gleichstromantriebe oder ähnliche antriebstechnische Geräte enthalten, wird immer häufiger die Verwendung eines Fehlerstromschutzschalters des Typs B (oder B+) vorgeschrieben. Die dazu gehörende Norm ist die DIN VDE 0100 Teil 530. Darin werden auch die Anforderungen für diese Geräte definiert.

Leider gestattet die derzeitige Normung noch einen zu großen Spielraum bei den Anforderungen von allstromsensitiven Fehlerstromschutzschaltern. Dies hat zur Folge, dass viele der auf dem Markt erhältlichen Modelle zwar der Norm entsprechen, aber längst nicht alle auch ein identisches Auslöseverhalten zeigen und somit den ungestörten Betrieb von Maschinen und Anlagen garantieren. Dies gilt besonders für den Frequenzbereich und die Auslöseverzögerung, die bei antriebstechnischen Anwendungen zwingend notwendig ist.

Solange keine besonderen Anforderungen an einen vorgeschalteten Fehlerstromschutzschalter bestehen, ist der Einsatz eines solchen, zwar der Norm entsprechenden, aber „einfachen Fehlerstromschutzschalters“ auch kein Problem. Wird diese Schutzmaßnahme aus Personen- oder Brandschutzgründen vom Endkunden vorgeschrieben, so sollte bereits bei der Produktauswahl sorgfältig geprüft werden, welches Modell den einsatzbedingten Anforderungen entspricht. Die EPA RCCB Produktfamilie bietet für alle Anforderungen den passenden Fehlerstromschutzschalter.

Das große Problem mit einem solchen, der Anwendung vorgeschalteten Fehlerstromschutzschalter ist allerdings, dass dieser häufig ungewollt auslöst, wenn das Versorgungsnetz zu- oder abgeschaltet wird oder bei eingeschaltetem Hauptschalter die CEE Steckverbindung getrennt wird.

Netzfilter als potentielle Fehlerquelle

Wenn erst nach mehreren Versuchen des schnellen Wiedereinschaltens der RCD-Schutzeinrichtung (bei eingeschalteter Anwendung) diese in einen betriebsbereiten Zustand zu bringen ist, kann - neben dem Einschaltverhalten des Hauptschalters - die Ursache in der Verwendung von Dreileiter-EMV-Netzfiltern (ohne Neutralleiter) zu finden sein.

Diese Bauteile werden oft als „Kompaktfilter mit hoher Dämpfung“ bezeichnet. Man findet sie am Netzeingang von Schaltschränken und / oder in direkter Nachbarschaft zum Frequenzumrichter oder Servoregler. Aber auch die platzsparende Montage direkt unter besagten Komponenten ist möglich. So montierte Filter bezeichnet man konsequenterweise als Unterbau-Netzfilter.

Je mehr EMV-Filtermaßnahmen in einer Anwendung verbaut sind (diese können übrigens auch direkt in einen Antriebsregler integriert sein), umso höher ist der Gesamtableitstrom der Anlage, der den Fehlerstromschutzschalter „vorbelastet“. Sobald dann noch ein geringer Ableitstrom durch z. B. eine Schalthandlung auftritt, löst der Schutzschalter aus.

Die Beurteilung der „Auslastung“ eines allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalters des Typs „B“ oder „B+“ kann am besten mit dem EPA Ableitstrom Mess- und Analysesystem **LEAK**WATCH vorgenommen werden.

Leakage currents on EMC filters

Incorrect tripping of upstream residual current circuit breakers in three-phase supply networks when using line filters in machines and systems

The use of a type B (or B+) residual current circuit breaker is increasingly becoming mandatory for the safe operation of machines and systems containing frequency inverters, servo controllers, DC drives or similar drive technology devices. The associated standard is DIN VDE 0100 Part 530, which also defines the requirements for these devices.

Unfortunately, the current standardisation still allows too much leeway in the requirements for AC/DC sensitive residual current circuit breakers. As a result, many of the models available on the market comply with the standard, but by no means all of them exhibit identical tripping behaviour and thus guarantee the undisturbed operation of machines and plants. This applies in particular to the frequency range and the tripping delay, which is absolutely essential for drive engineering applications.

As long as there are no special requirements for an upstream residual current circuit breaker, the use of such a "simple residual current circuit breaker", although it complies with the standard, is not a problem. If this protective measure is prescribed by the end customer for reasons of personal safety or fire protection, it should be carefully checked during product selection which model meets the requirements for use. The EPA RCCB product family offers the right residual current circuit breaker for all requirements.

However, the big problem with such a residual current circuit breaker connected upstream of the application is that it often trips unintentionally when the supply network is switched on or off or the CEE plug connection will be disconnected while the main switch is switched on.

Line filter as potential source of error

If the protective device (RCD) can only be brought into an operational state after several attempts to quickly restart it (with the application switched on), the cause can be found - in addition to the switch-on behaviour of the main switch - in the use of three-wire EMC line filters (without neutral conductor).

These components are often referred to "compact filters with high attenuation". They are found at the mains input of control cabinets and/or in the direct vicinity of frequency inverters or servo controllers. However, space-saving installation directly under said components is also possible. Filters mounted in this way are consequently referred to as footprint filters.

The more EMC filter measures are installed in an application (these can, by the way, also be directly integrated into a drive controller), the higher is the total leakage current of the system, which "preloads" the residual current circuit breaker. As soon as a low leakage current then occurs, e.g. due to a switching operation, the circuit breaker will trip.

The assessment of the "load" of a type "B" or "B+" AC/DC sensitive residual current device can best be carried out with the EPA leakage current measuring and analysis system **LEAK**WATCH.

Nebenbei bemerkt verbessert sich die Gesamtentstörung einer Maschine oder Anlage nicht mit der Anzahl der eingebauten Netzfilter. Sind mehrere Netzfilter in einem Schaltschrank in unmittelbarer Nähe angeordnet, so ergeben sich durch die Leitungsführung in den Kabelschächten neben der Kopplung von Störungen auf benachbarte, bereits entstörte Leitungen häufig auch Serien- oder Parallelresonanzeffekte, die Störspannungen somit noch verstärken können.

Der Ursprung der gesamten Problematik liegt in der Schaltungstechnik der verbauten „Antriebskomponenten“. Elektronische Geräte wie Frequenzumrichter und Servoregler erzeugen überwiegend un- bzw. asymmetrische Störspannungen im niederen (kHz) und auch höheren (MHz) Frequenzbereich, deren Bezugspotenzial PE („Erde“) ist. Um diese Spannungen zu verringern oder zu eliminieren, werden in den Netzfiltern u. a. Kondensatoren gegen das Gehäuse, also gegen PE, geschaltet. Eine solche Schaltung ist zulässig, solange diese Bauteile besondere Sicherheitsanforderungen einhalten. Jeder dieser Kondensatoren erzeugt somit einen betriebsbedingten Ableitstrom gegen PE, den ein vorgeschalteter Fehlerstromschutzschalter als unzulässigen Fehlerstrom interpretiert.

Um diese Ströme im Netzfilter generell zu begrenzen, werden besondere Filterschaltungen verwendet.

Incidentally, the overall interference suppression of a machine or system does not improve with the number of line filters installed. If several line filters are arranged in the immediate vicinity of each other in a control cabinet, the routing of cables in the cable ducts often results in series or parallel resonance effects in addition to coupling interference to adjacent lines that are already suppressed, which can thus amplify interference voltages.

The origin of the entire problem lies in the circuit technology of the installed "drive components". Electronic devices such as frequency inverters and servo controllers generate predominantly unbalanced or asymmetrical interference voltages in the lower (kHz) and also higher (MHz) frequency range, whose reference potential is PE ("earth"). In order to reduce or eliminate these voltages, capacitors, among other things, are switched against the case, i.e. against PE, in the line filters. Such a circuit is permissible as long as these components comply with special safety requirements. Each of these capacitors thus generates an operational leakage current against PE, which an upstream residual current circuit breaker interprets as an impermissible residual current.

Special filter circuits are used to generally limit these currents in the line filter.

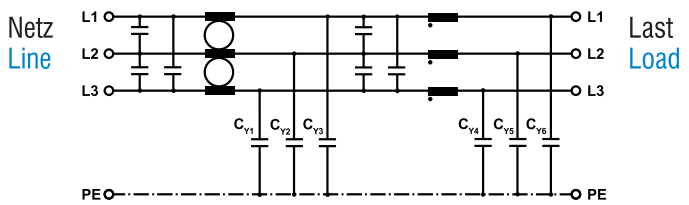
Netzfilterschaltungen

Diese Kondensatorschaltungen können je nach Anwendung und Anforderung auch mehrfach in einem Netzfilter enthalten sein.

Line filter circuits

Depending on the application and needed performance, these capacitor circuits can also be contained several times in a line filter.

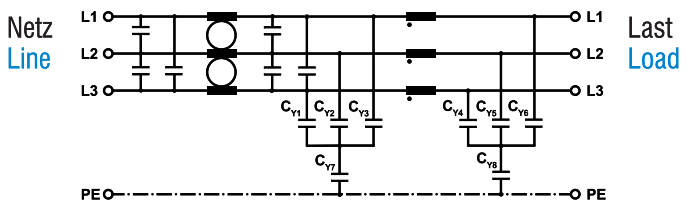
Netzfilterschaltung 1 | Line filter circuit 1



Bei Netzfiltern mit Schaltungen nach Netzfilterschaltung 1 ist der Ableitstrom beim Netzzuschalten oder -abschalten und auch im Normalbetrieb vergleichsweise hoch.

For line filters with circuits after line filter circuit 1, the leakage current is comparatively high when the mains is switched on or off and also in normal operation.

Netzfilterschaltung 2 | Line filter circuit 2



Bei Netzfiltern mit Schaltungen nach Netzfilterschaltung 2 ist der Ableitstrom im Betrieb (beim Vorhandensein aller drei Phasen und gleicher Netzspannung) relativ gering, da der virtuelle Sternpunkt idealerweise „0 V“ beträgt und somit kein Ableitstrom im Netzfilter gegen PE fließt.

For line filters with circuits according to line filter circuit 2, the leakage current during operation (when all three phases are present and the mains voltage is the same) is relatively low, since the virtual star point is ideally "0 V" and thus no leakage current flows in the line filter against the PE.

In der Realität besitzen die Kapazitäten der Kondensatoren z. T. hohe Toleranzen und auch die Versorgungsspannung der drei Phasen ist zueinander nicht zu 100 % gleich, sodass der virtuelle Sternpunkt ≠ 0 V ist und der Ableitstrom folglich einige mA betragen kann. Demnach besitzen im aufgeführten Schaltbeispiel nach Netzfilterschaltung 2 die Kondensatoren C_{y7} und C_{y8} die den Gesamtableitstrom bestimmende Wirkung, nach der in einer Reihenschaltung von Kondensatoren die Gesamtkapazität kleiner als die kleinste Einzelkapazität ist und somit diesen Ableitstrom begrenzen.

Besondere Bedeutung besitzt dieser Sachverhalt beim Zu- bzw. Abschalten der Versorgungsspannung am Netzfilter.

Da in einem realen Hauptschalter im Netzeingang von Anlagen die Kontakte einzeln mittels einer Walze an das Netz geschaltet werden, stehen am Netzfiltereingang die drei Phasenspannungen oft nacheinander und nicht immer gleichzeitig an. Im ungünstigsten Fall stehen also, wenn nur eine Phase am Netzfilter angeschaltet ist, an den Kondensatoren C_{y7} und C_{y8} „über 300 V“ und nicht „nahe 0 V“ an. Es fließt für wenige Millisekunden ein hoher Ableitstrom, der in den allermeisten Fällen einen Fehlerstromschutzschalter ungewollt zum Auslösen bringt. Gleiches gilt auch beim Abschalten der Versorgungsspannung, wenn nicht mehr alle Phasen am Netzfilter anliegen.

Diesen Ableitstrom gilt es zu verhindern:

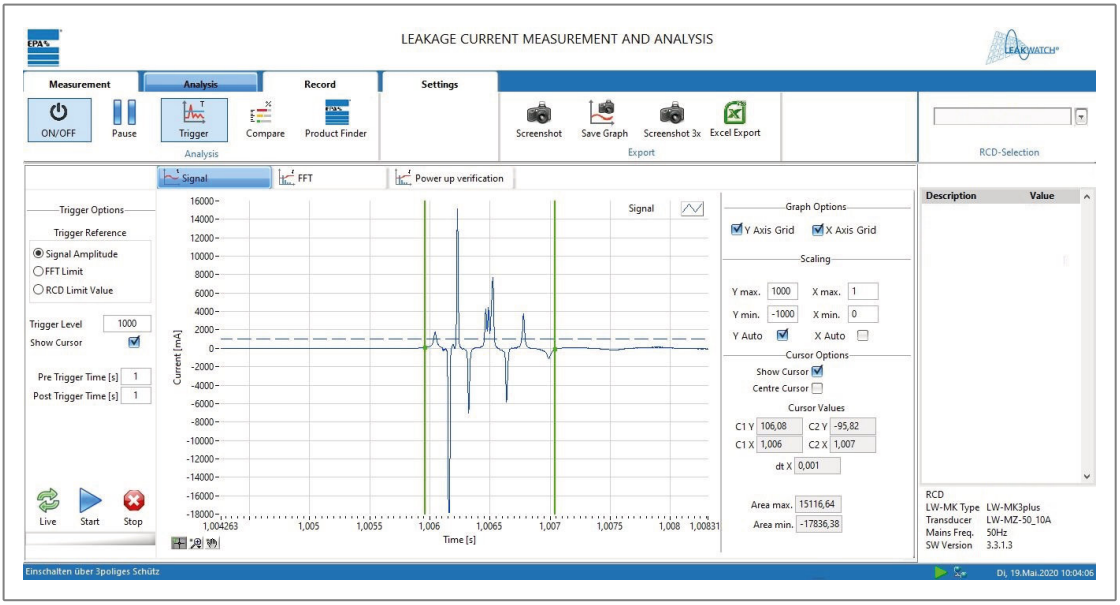
In reality, the capacitances of the capacitors sometimes have high tolerances and the supply voltage of the three phases is also not 100 % equal to each other, so that the virtual star point is ≠ 0 V and the leakage current can therefore be several mA. According to this, the capacitors C_{y7} und C_{y8} in the listed switching example after line filter circuit 2 have the effect of determining the total leakage current, according to which the total capacitance in a series connection of capacitors is smaller than the smallest individual capacitance and thus limits this leakage current.

This fact is particularly important when the supply voltage is switched on or off at the line filter.

Since in a real main switch in the mains input of systems, the contacts are individually connected to the mains by means of a roller, the three phase voltages are often applied one after the other and not always simultaneously at the line filter input. In the worst case, therefore, if only one phase is connected to the line filter, the capacitors C_{y7} und C_{y8} will have "over 300 V" and not "near 0 V". A high leakage current flows for a few milliseconds, which in most cases trips a residual current circuit breaker unintentionally. The same applies when the supply voltage is switched off, if not all phases are still connected to the line filter.

This leakage current must be prevented:

Einschaltverhalten einer Maschine am dreiphasigen Netz | Switch-on behaviour of a machine on three-phase mains

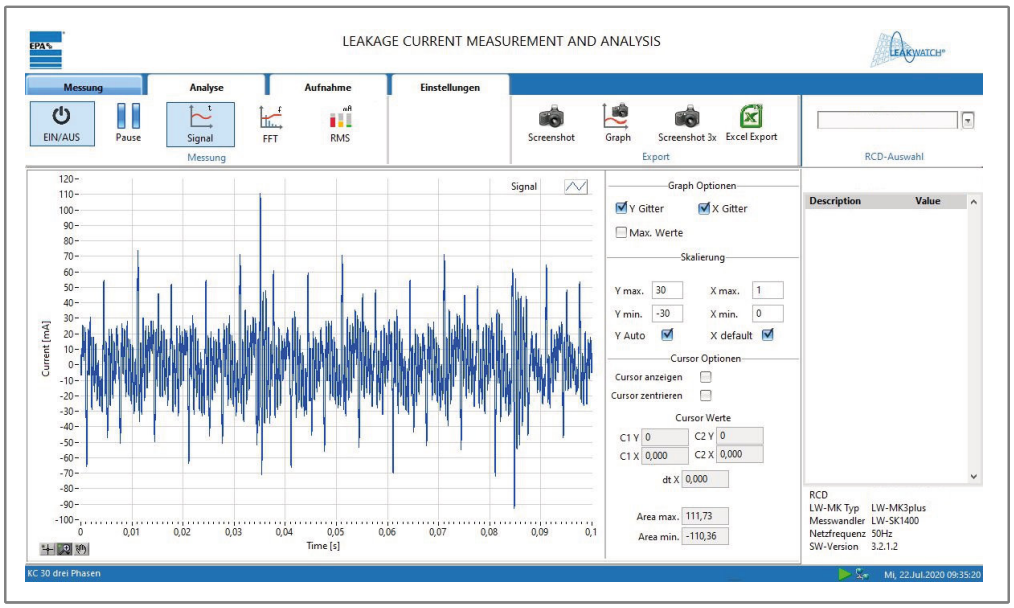


Zeitbereichsdarstellung des Ableitstromes beim Einschalten einer dreiphasigen Maschine mit einem Schütz.
Time domain display of the leakage current when switching on a three-phase machine with a contactor.

Auf den folgenden Seiten sind in einem Versuchsaufbau die Höhen des Netzfilter-Ableitstromes bei drei, zwei bzw. lediglich einer angeschlossenen Phase in Zeit- und Frequenzbereichsdarstellung abgebildet:

On the following pages the heights of the line filter leakage current with three, two or only one connected phase are shown in a test setup in time domain and frequency range display:

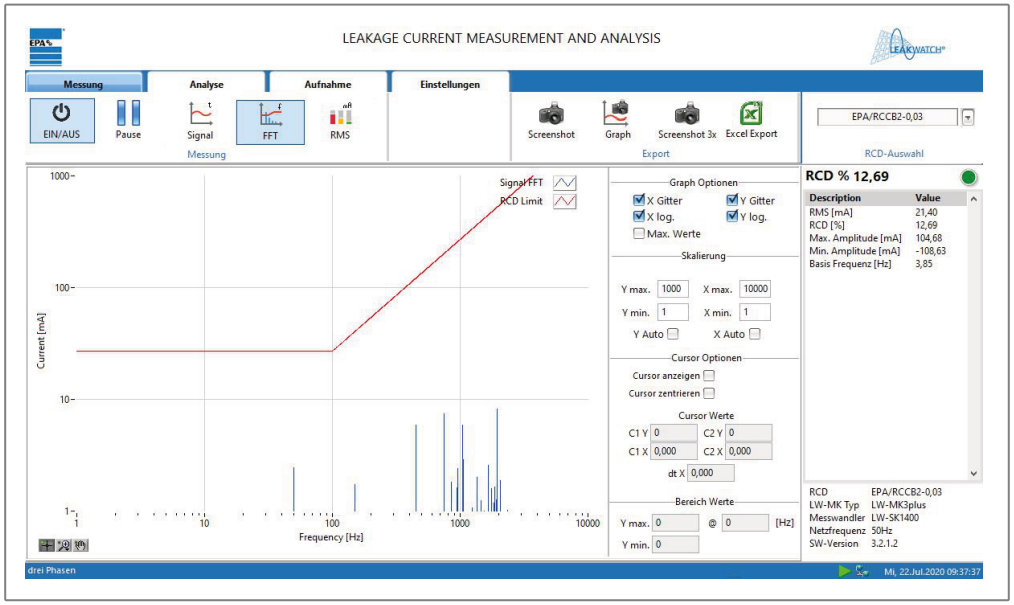
Zeitbereichsdarstellung mit **drei** angeschlossenen Phasen | Time domain display with **three** connected phases



Zeitbereichsdarstellung des Ableitstromes an einem dreiphasigen Netzfilter. Alle drei Phasen sind angeschlossen.

Time domain display of the leakage current at a three-phase line filter. All three phases are connected.

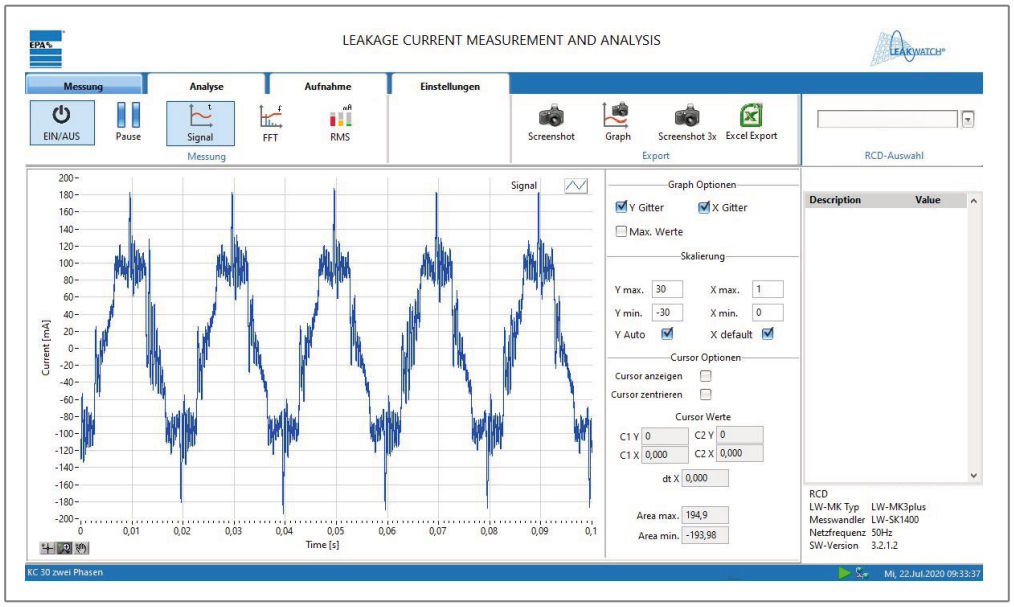
Frequenzbereich mit **drei** angeschlossenen Phasen | Frequency range display with **three** connected phases



Frequenzbereichsdarstellung des Ableitstromes an einem dreiphasigen Netzfilter. Alle drei Phasen sind angeschlossen. Alle Frequenzen außer 50 Hz sind Ableitströme, die wegen Störspannungen im Versorgungsnetz zusätzlich über das Netzfilter abgeleitet werden (hinterlegte Auslösekennlinie 0,03 A Personenschutz).

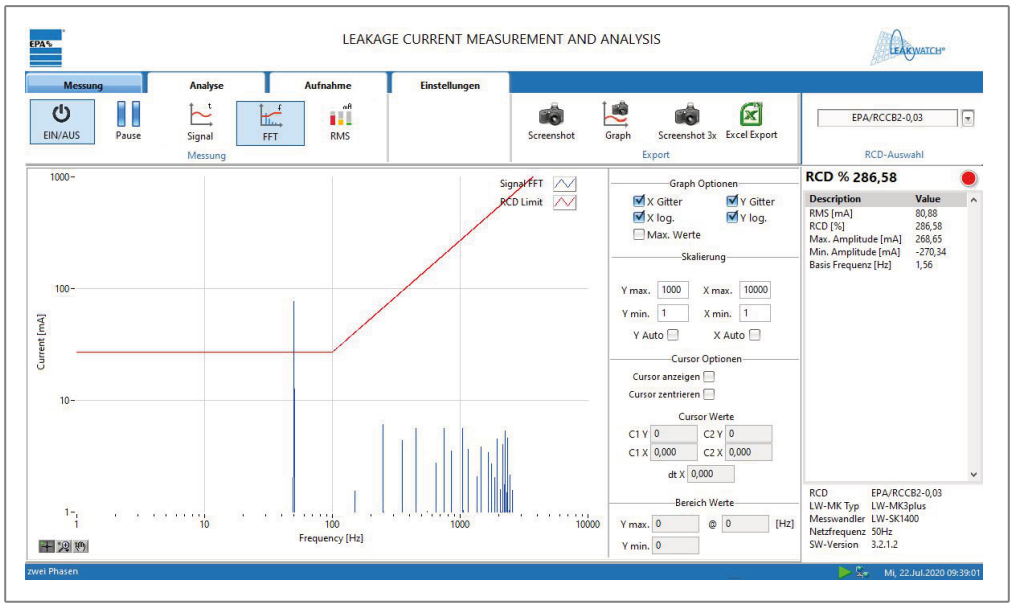
Frequency range display of the leakage current at a three-phase line filter. All three phases are connected. All frequencies except 50 Hz are leakage currents which are additionally discharged via the line filter due to interference voltages in the supply system (stored tripping characteristic 0.03 A personal protection).

Zeitbereichsdarstellung mit **zwei** angeschlossenen Phasen | Time domain display with **two** connected phases



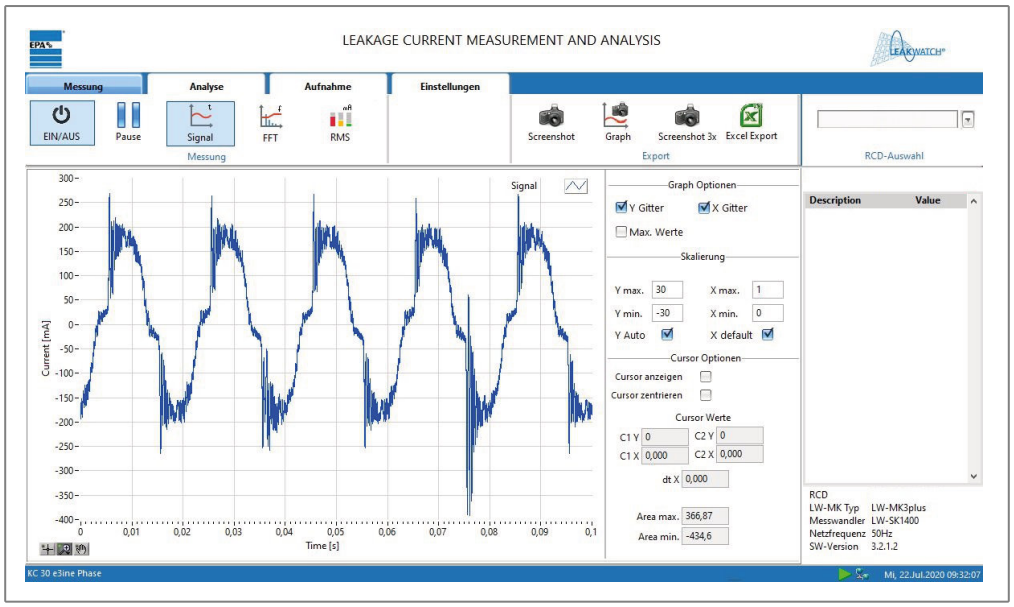
Zeitbereichsdarstellung des Ableitstromes an einem dreiphasigen Netzfilter. Zwei Phasen sind angeschlossen.
Time domain display of the leakage current at a three-phase line filter. Two phases are connected.

Frequenzbereich mit **zwei** angeschlossenen Phasen | Frequency range display with **two** connected phases



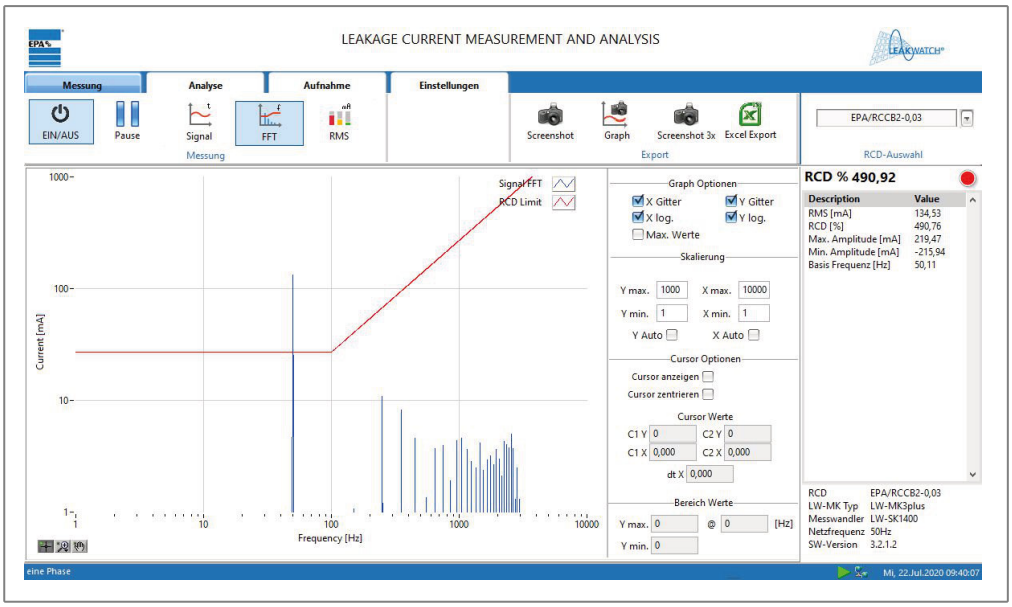
Frequenzbereichsdarstellung des Ableitstromes an einem dreiphasigen Netzfilter. Zwei Phasen sind angeschlossen. Alle Frequenzen außer 50 Hz sind Ableitströme, die wegen Störspannungen im Versorgungsnetz zusätzlich über das Netzfilter abgeleitet werden (hinterlegte Auslösekennlinie 0,03 A Personenschutz).
Frequency range display of the leakage current at a three-phase line filter. Two phases are connected. All frequencies except 50 Hz are leakage currents which are additionally discharged via the line filter due to interference voltages in the supply system (stored tripping characteristic 0.03 A personal protection).

Zeitbereichsdarstellung mit **einer** angeschlossenen Phase | Time domain display with **one** connected phase



Zeitbereichsdarstellung des Ableitstroms an einem dreiphasen Netzfilter. Nur eine Phase ist angeschlossen (ungünstigster Fall).
Time domain display of the leakage current at a three-phase line filter. Only one phase is connected (worst case).

Frequenzbereich mit **einer** angeschlossenen Phase | Frequency range display with **one** connected phase



Frequenzbereichsdarstellung des Ableitstromes an einem dreiphasigen Netzfilter. Nur eine Phase ist angeschlossen. Alle Frequenzen außer 50 Hz sind Ableitströme, die wegen Störspannungen im Versorgungsnetz zusätzlich über das Netzfilter abgeleitet werden (hinterlegte Auslösekennlinie 0,03 A Personenschutz).
Frequency range display of the leakage current at a three-phase line filter. Only one phase is connected. All frequencies except 50 Hz are leakage currents which are additionally discharged via the line filter due to interference voltages in the supply system (stored tripping characteristic 0.03 A personal protection).

Verschiedene Lösungsansätze

Um bei der ableitstrombedingten Reduzierung der Kondensatorkapazitäten Cy keine Verringerung der Filterwirkung zu erhalten, müssen besondere Filterschaltungen mit optimierten und sehr hochwertigen Kernmaterialien eingesetzt werden. Diese Lösung für den sicheren Betrieb an Fehlerstromschutzschaltern wird u. a. in den kundenspezifischen Dreileiter-Netzfiltern der Baureihe NF-S verwendet.

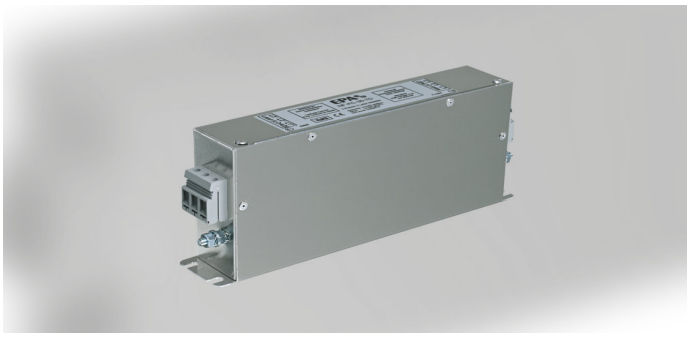
Die verzögerte Anschaltung der Kondensatoren Cy7 und Cy8 (vgl. Netzfilterschaltung 2 auf Seite 10) vom Sternpunkt an den PE wird bei der EPA Netzfilterbaureihe EPA NF-KC-TD verwendet. Dabei werden die Kondensatoren Cy7 und Cy8 zeitverzögert vom Sternpunkt mit dem PE des Filtergehäuses verbunden. So kann ein Ableitstrom auf Grund der fehlenden Netzsymmetrie am Netzfilter beim Zuschalten verhindert werden.

Different approaches

In order to avoid a reduction of the filter effect when reducing the capacitor capacitance Cy due to the leakage current, special filter circuits with optimised and very high-quality core materials must be used. This solution for safe operation on residual current circuit breakers is used, among other things, in the customised three-phase line filters of the NF-S series.

The delayed connection of the capacitors Cy7 and Cy8 (cf. line filter circuit 2 on page 10) from the star point to the PE is used for the EPA line filter series EPA NF-KC-TD. Thereby the capacitors Cy7 and Cy8 are connected time-delayed from the star point to the PE of the filter housing. Thus, a leakage current due to the lack of mains symmetry at the line filter can be prevented when switching on.

Dreiphasenfilter: EMV-Filter bei Einschalt-Problemen NF-KC-TD
Three-phase filters: EMC filters for switch-on issues NF-KC-TD



Eine Netzunsymmetrie ist nicht nur beim Einschalten möglich. Auch beim Abschalten werden nicht alle Phasen zeitgleich getrennt. Ebenso kann es während dem Betrieb zu kurzzeitigen Spannungsschwankungen oder ähnlichen Phänomenen kommen, welche eine Unsymmetrie zur Folge haben. Mit EPA's innovativer Pre**LEAK**® Technologie (Netzfilterschaltung 3) ist es erstmals gelungen, die durch die Netzunsymmetrie verursachten Ableitströme in den Griff zu bekommen. Diese Technologie ermöglicht somit einen dauerhaft sicheren Betrieb an einem Fehlerstromschutzschalter. Auslösungen des Fehlerstromschutzschalters durch Ableitstromspitzen des Netzfilters während des Zuschaltens, Abschaltens und sogar im laufenden Betrieb gehören mit der EPA Pre**LEAK**® Technologie zur Vergangenheit.

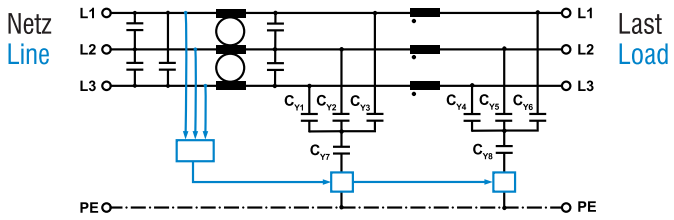
Die Netzfilterbaureihe NF-KC-LKY ist die erste Generation die serienmäßig mit der Pre**LEAK**® Technologie ausgestattet ist. Auch Unterbaufilter aller bekannter Frequenzumrichter Hersteller können kundenspezifisch mit der Pre**LEAK**® Technologie ausgestattet werden, sofern der Wunsch nach dieser Lösung besteht.

A mains imbalance is not only possible when switching on. Even when switching off, not all phases are separated at the same time. Also during operation short voltage fluctuations or similar phenomena can occur, which can lead to an unbalance. With EPA's innovative Pre**LEAK**® Technology (Line filter circuit 3), it has been possible for the first time to get a grip on the leakage currents caused by the mains imbalance. This technology thus enables permanently safe operation on a residual current circuit breaker. Trippings of the residual current circuit breaker caused by leakage current peaks of the line filter during switching on, switching off and even during operation are a thing of the past with the EPA Pre**LEAK**® Technology.

The line filter series NF-KC-LKY is the first generation to be equipped with the Pre**LEAK**® Technology as standard. Also footprint filters of all known frequency inverter manufacturers can be equipped with the Pre**LEAK**® Technology according to the customer's requirements.

Dreiphasenfilter: EMV-Filter bei Ein- und Ausschalt-Problemen NF-KC-LKY
Three-phase filters: EMC filters for switch-on and switch-off issues NF-KC-LKY

Netzfilterschaltung 3 | Line filter circuit 3

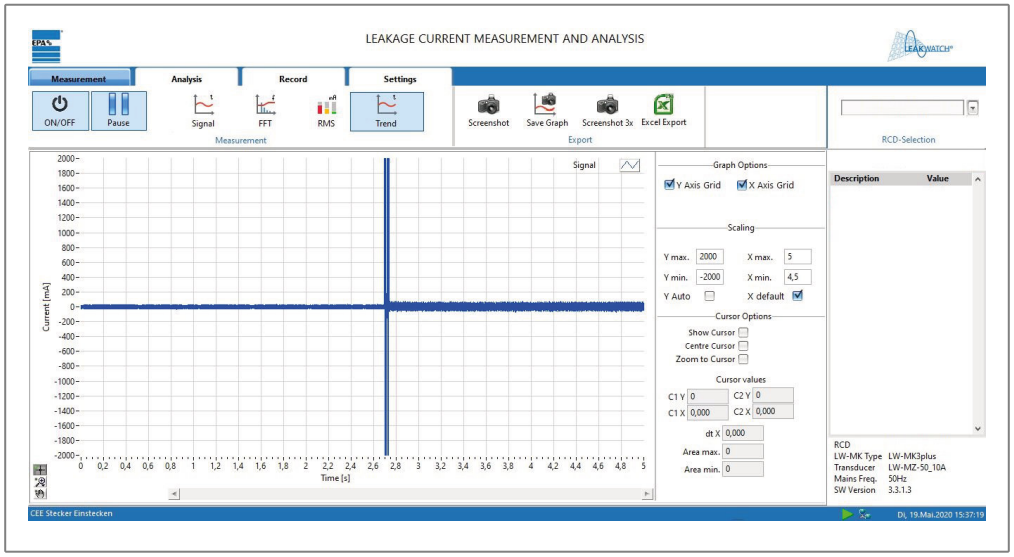


— Pre**LEAK**® Technologie | Pre**LEAK**® Technology

Auf dieser Doppelseite ist die Wirkungsweise der dreiphasigen Netzfilterbaureihe NF-KC-LKY aufgezeigt. Pulsförmige Ableitströme, verursacht durch Schaltvorgänge oder mangelhafte Kontaktierung, werden im ms Bereich erfasst und auf geringe Werte reduziert. Die Auslösung eines vorgeschalteten allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter des Typs „B“ oder „B+“ mit Auslöseverzögerung wird somit wirksam verhindert.

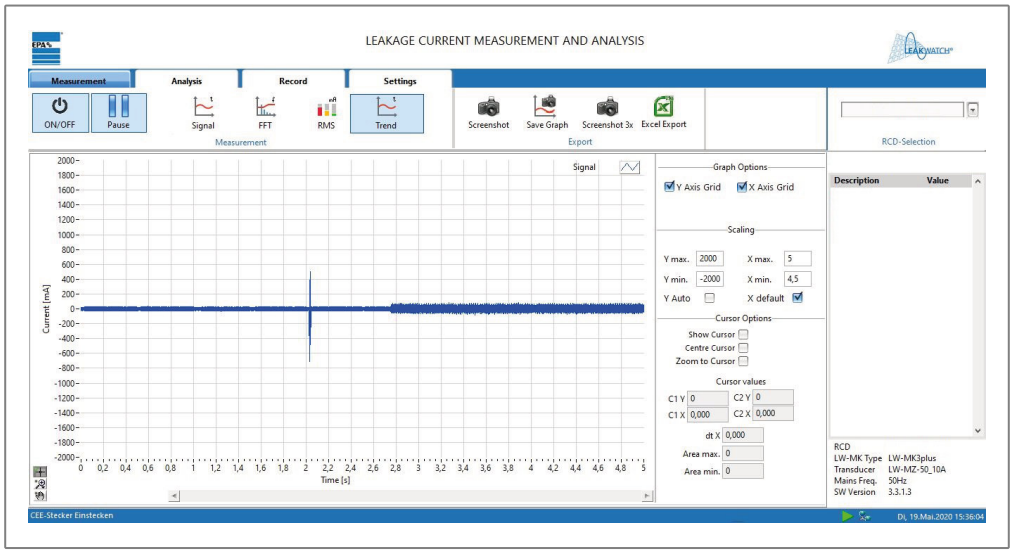
This double page shows the mode of operation of the three-phase line filter series NF-KC-LKY. Pulsed leakage currents, caused by switching operations or defective contacting, are detected in the ms range and reduced to low values.The tripping of an upstream AC/DC sensitive residual current circuit breaker of type "B" or "B+" with tripping delay is thus effectively prevented.

Einschalten einer Maschine mit **Standard-Netzfilter** | Switching on a machine with **standard line filter**



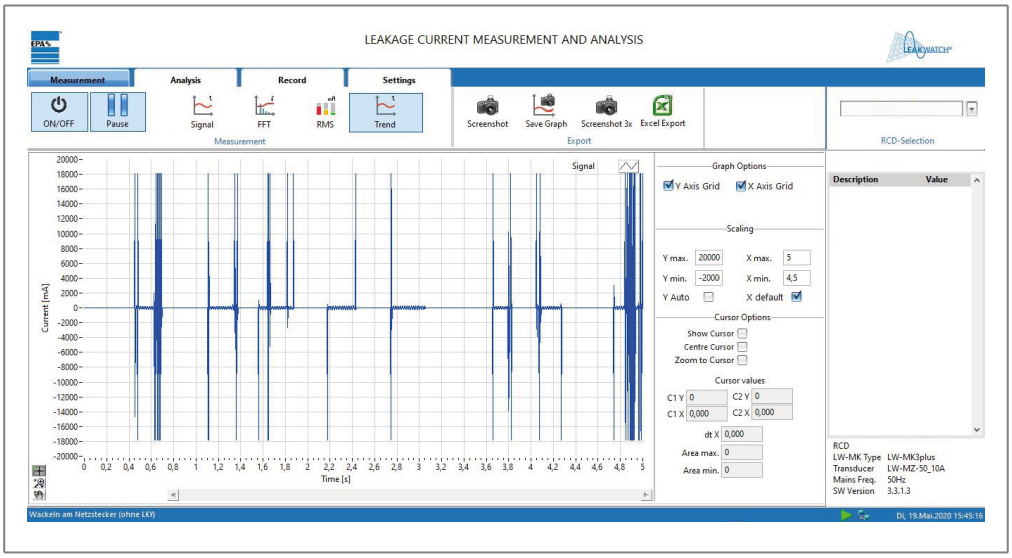
Ableitstromspitze beim Einschalten einer Maschine mit einem Standard-3-Phasen-Netzfilter.
Leakage current peak when switching on a machine with a standard three-phase line filter.

Einschalten einer Maschine mit **NF-KC-LKY** | Switching on a machine with **NF-KC-LKY**



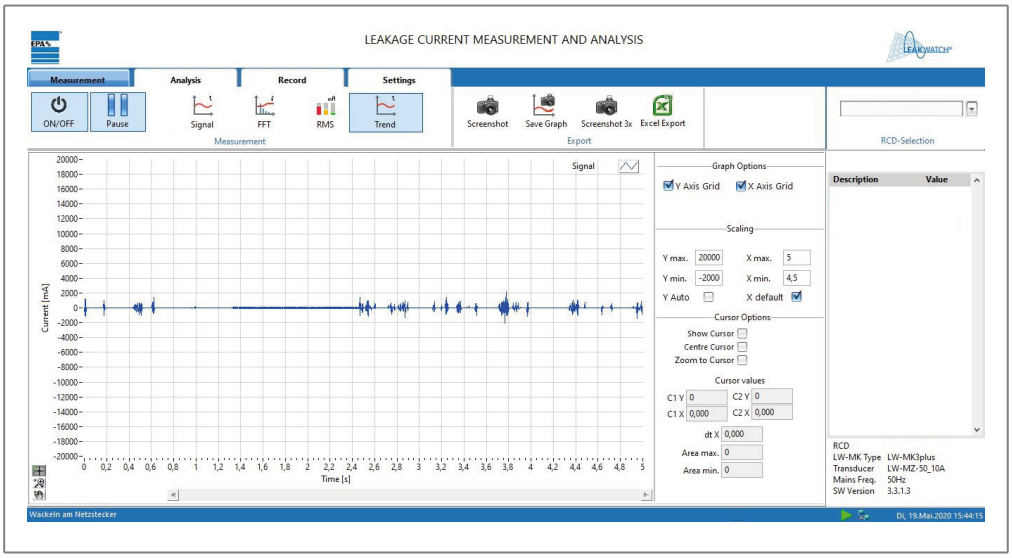
Ableitstromspitze beim Einschalten einer Maschine mit einem EPA NF-KC-LKY 3-Phasen-Netzfilter.
Leakage current peak when switching on a machine with an EPA NF-KC-LKY 3-phase line filter.

Einschalten einer Maschine mit **Standard-Netzfilter** bei stark vibrierendem CEE-Stecker
Switching on a machine with **standard line filter** with strongly vibrating CEE plug



Ableitstromspitzen bei einem stark vibrierenden CEE-Stecker, verursacht durch schlechte Kontakte bei Verwendung eines Standard-3-Phasen-Netzfilters.
Leakage current peaks at a strongly vibrating CEE plug caused by poor contacts when using a standard three-phase line filter.

Einschalten einer Maschine mit **NF-KC-LKY** bei stark vibrierendem CEE-Stecker
Switching on a machine with **NF-KC-LKY** with strongly vibrating CEE plug



Ableitstromspitzen bei einem stark vibrierenden CEE-Stecker verursacht durch schlechte Kontakte werden bei bei Verwendung eines EPA NF-KC-LKY 3-Phasen-Netzfilters deutlich reduziert.
Leakage current peaks at a strongly vibrating CEE plug caused by poor contacts are significantly reduced when using an EPA NF-KC-LKY 3-phase line filter.

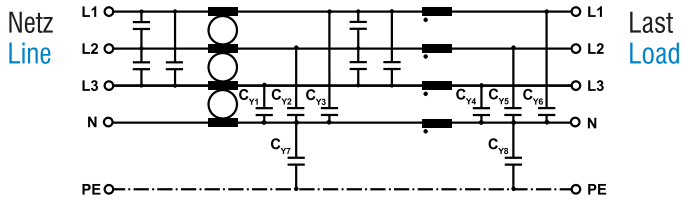
Alternative Vierleiterfilter

Neben der soeben beschriebenen Lösung besteht auch die Möglichkeit des Einsatzes von Vierleiter-Netzfiltern (Netzfilterschaltung 4), also Ausführungen bei denen es eines netzseitig vorhandenen Neutralleiters bedarf.

Alternative four-line filter

In addition to the solution just described, there is also the possibility of using four-line filters (Line filter circuit 4), i.e. designs where a neutral conductor is required on the line side.

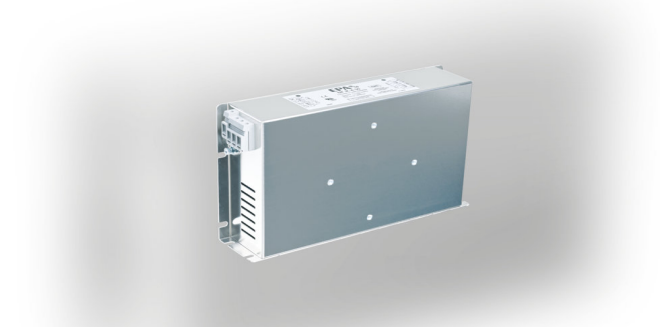
Netzfilterschaltung 4 | Line filter circuit 4



Bei diesen Filterschaltungen werden die Kondensatoren, die in Dreileiter-Netzfiltern gegen den virtuellen Sternpunkt geschaltet werden, mit dem Neutralleiter verbunden. Am Filterausgang muss der N nicht angeschlossen werden, sofern er nicht im Schaltschrank z. B. für 230 V Anwendungen benötigt wird. Der Filterableitstrom fließt somit über den Neutralleiter und nicht über den PE in das Versorgungsnetz zurück. Da der Neutralleiter aber bei der Differenzstrommessung im Fehlerstromschutzschalter berücksichtigt wird, löst dieser auch bei den beschriebenen Schalthandlungen nicht fehlerhaft aus. Die Kondensatoren zwischen dem Neutralleiter und dem PE dienen der HF-Anbindung des Filters an das Filtergehäuse (also an den PE). Sie besitzen oftmals nur eine geringe Kapazität und erzeugen nur einen marginalen Ableitstrom, da ja zwischen dem Neutralleiter und dem PE nahezu keine Spannung vorhanden ist.

In these filter circuits, the capacitors, which are switched against the virtual star point in three-line filters, are connected to the neutral conductor. The N does not have to be connected to the filter output if it is not required in the control cabinet, e.g. for 230 V applications. The filter leakage current thus flows back into the supply network via the neutral conductor and not via the PE. However, since the neutral conductor is taken into account in the residual current measurement in the residual current circuit breaker, it does not trip incorrectly even with the described switching actions. The capacitors between the neutral conductor and the PE serve for the HF connection of the filter to the filter case (and to the PE). They often have a low capacity and generate only a marginal leakage current, as there is almost no voltage between the neutral conductor and the PE.

Dreiphasenfilter mit Neutralleiter:
Hochleistungs-2-Stufen-Netzfilter NF-K-4
Three-phase filters with neutral conductor:
High performance 2-stage line filters NF-K-4



Dreiphasenfilter mit Neutralleiter:
Hochleistung-Kompakt-Netzfilter NF-4-FTN
Three-phase filters with neutral conductor:
High preformance compact line filters NF-4-FTN

Ableitstrom kompensieren

LEAKCOMP® ***HP***

In dreiphasigen Anwendungen entstehen weitere Varianten betriebsbedingter netzsynchroner Ableitströme mit einer Frequenz von 150 Hz und deren harmonische Schwingungen 450 Hz, 750 Hz und 1050 Hz. Sie werden häufig aus den Gerätezwischenkreisen über den EMV-Kondensator zum Schutzleiter bzw. Erdpotenzial abgeleitet. Diese niederfrequenten Ableitungen sind nur mit sehr hohem Aufwand durch passive Komponenten zu reduzieren.

Für diese Ableitströme hat die EPA GmbH ein aktives Kompensationsgerät entwickelt. Mit dem **LEAK**COMP® ***HP*** werden betriebsbedingte Ableitströme in den o.g. Frequenzen messtechnisch ermittelt und in einem aufwändigen Verfahren kompensiert. Dabei wird zwischen Ableit- und Fehlerströmen präzise differenziert. Der eingeprägte Kompensationsstrom überlagert den betriebsbedingten Ableitstrom und der allstromsensitive Fehlerstromschutzschalter gewinnt seine klare Auslösecharakteristik für Fehlerströme zurück ohne durch betriebsbedingte Ableitströme beeinflusst zu werden. **Im Gegensatz zu anderen Anbietern von Ableitstromkompensatoren werden alle nachgeschalteten Komponenten weiterhin von der allstromsensitiven Fehlerstromschutzeinrichtung, sowohl im Personenschutz (30mA), als auch im Brandschutz (300mA), voll umfänglich geschützt.** Der **LEAK**COMP® ***HP*** nimmt **keinen** Einfluss auf die Auslöse-Charakteristik der Schutzeinrichtung. In der derzeitigen Ausführung können bis zu 500 mA (RMS) kompensiert werden. Der **LEAK**COMP® ***HP*** stellt die perfekte Ergänzung zum allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter (z. B. EPA RCCB-Reihe) dar, ohne die Betriebssicherheit negativ zu beeinflussen.

Compensate leakage currents

LEAKCOMP® ***HP***

In three-phase applications further variants of operationally synchronous mains leakage currents with a frequency of 150 Hz and their harmonic oscillations 450 Hz, 750 Hz and 1050 Hz are produced. They are often derived from the DC link circuits via the EMC capacitor to the protective conductor or earth potential. These low-frequency leakage currents can only be reduced by passive components at great expense.

EPA GmbH has developed an active compensation device for these leakage currents. With the **LEAK**COMP® ***HP*** the operational leakage currents in the above mentioned frequencies are determined by measurement and compensated in a complex procedure. A precise differentiation is made between leakage and residual currents. The impressed compensation current superimposes the operational leakage current and the AC/DC sensitive residual current circuit breaker regains its clear tripping characteristic for residual currents without being influenced by operational leakage currents. **In contrast to other suppliers of leakage current compensators, all downstream components continue to be fully protected by the AC/DC sensitive residual current device, both in personal protection (30 mA) and in fire protection (300 mA).** The **LEAK**COMP® ***HP*** has **no** influence on the tripping characteristics of the protective device. In the current version, up to 500 mA (RMS) can be compensated. The **LEAK**COMP® ***HP*** is the perfect complement to the AC/DC sensitive residual current circuit breaker (e.g. EPA RCCB series) without negatively affecting the operational safety.

Produktreihe **LEAK**COMP® ***HP*** | Product series **LEAK**COMP® ***HP***

LEAKCOMP® ***HP*** | **LEAK**COMP® ***HP eco*** | **LEAK**COMP® ***HP eco ext***

LEAKCOMP® ***1P***

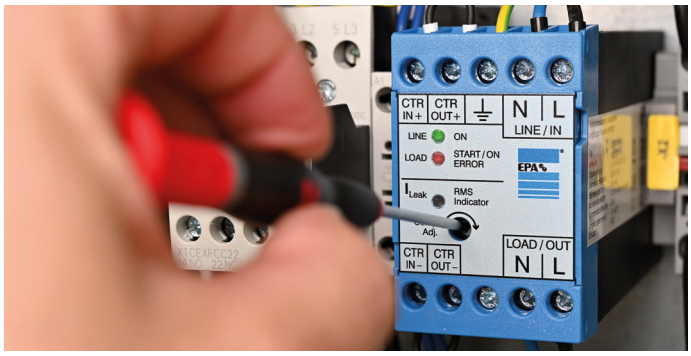
Auch in einphasigen Anwendungen mit Frequenzumrichtern oder ähnlichen Geräten entstehen betriebsbedingte und netzsynchrone Ableitströme mit einer Frequenz von 50 Hz und deren harmonische Schwingungen. Sie werden, ähnlich wie in dreiphasigen Anwendungen, häufig aus den Gerätezwischenkreisen über den EMV-Kondensator zum Schutzleiter bzw. Erdpotenzial abgeleitet. Auch in diesen Anwendungen sind die niederfrequenten Ableitungen nur mit sehr hohem Aufwand durch passive Komponenten zu reduzieren. Für diese Ableitströme hat die EPA GmbH ein weiteres, aktives Kompensationsgerät entwickelt. Mit dem **LEAK**COMP® ***1P*** werden die betriebsbedingten Ableitströme mit einer Frequenz von 50 Hz durch eine sogenannte Festkompensation kompensiert. Der Kompensationspegel wird einmalig auf den oder die Verursacherableitströme eingestellt. Somit kann ein einphasiger Frequenzumrichter durch den Einsatz eines **LEAK**COMP® ***1P*** an einem Fehlerstromschutzschalter vom Typ A betrieben werden.

LEAKCOMP® ***1P***

Even in single-phase applications with frequency inverters or similar devices, operational and mains-synchronous leakage currents with a frequency of 50 Hz and their harmonic oscillations occur. As in three-phase applications, they are often discharged from the DC link circuits of the device via the EMC capacitor to the protective conductor or earth potential. In these applications also the low-frequency discharges can only be reduced by passive components at great expense. For these leakage currents EPA GmbH has developed another active compensation device. The **LEAK**COMP® ***1P*** compensates the operational leakage currents with a frequency of 50 Hz by a so-called fixed compensation. The compensation level is adjusted once to the causative leakage current. Thus, by using a **LEAK**COMP® ***1P***, a single-phase frequency inverter can be operated on a type A residual current circuit breaker.

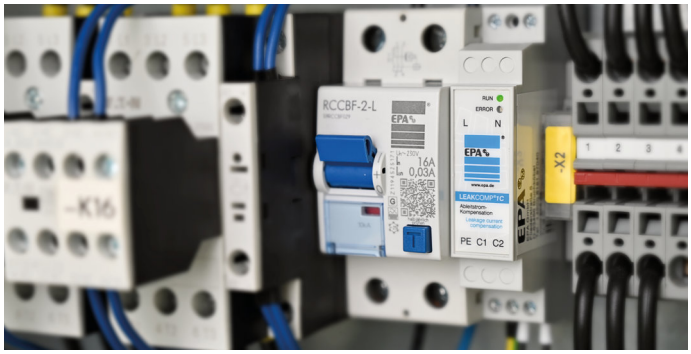
Ableitstromkompensation für einphasige Frequenz- und Servo-Umrichter | Leakage current compensation for single-phase frequency and servo inverters

LEAKCOMP® ***1P***



Ableitstromkompensation für einphasige Verbraucher | Leakage current compensation for single-phase frequency devices

LEAKCOMP® ***1C***



LEAKCOMP® ***1C***

Weitere einphasige Anwendungen stellen unter anderem EMV-Filter, Netzteile usw. dar. Auch hier sind betriebsbedingte Ableitströme mit einer Frequenz von 50 Hz möglich. Ist eine Geräteabsicherung mit Fehlerstromschutzschalter vorgesehen, kann der Ableitstrom die Schutzeinrichtung negativ beeinflussen. Eine Auslösung der Schutzeinrichtung, ohne dass ein Fehler vorliegt, kann die Folge sein.

Der **LEAK**COMP® ***1C*** von EPA kompensiert die in der Anlage / Maschine auftretenden betriebsbedingten Ableitströme und verhindert somit Fehlauslösungen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, welche durch zu hohe 50 Hz Ableitströme hervorgerufen werden. Diese Funktionalität ist bei allen handelsüblichen Fehlerstromschutzschaltern vom Typ A, F, B und B+ gegeben (kurzzeitverzögerte (KV) Ausführung empfohlen). Die Höhe des 50-Hz-Kompensationsstroms liegt standardmäßig bei 5 mA und kann über eine Drahtbrücke auf 11 mA erhöht werden. Reicht der Kompensationsstrom nicht aus, um den Ableitstrom ausreichend zu kompensieren, können weitere **LEAK**COMP® ***1C*** parallel geschaltet werden. Es ist zu beachten, dass der **LEAK**COMP® ***1C*** aus Sicherheitsgründen immer gleichzeitig mit dem Verbraucher / den Verursachern ein- und auch wieder ausgeschaltet werden muss. Eine Überkompensation muss vermieden werden.

LEAKCOMP® ***1C***

Other single-phase applications like EMC filters, power supplies, etc. Here also, operational leakage currents with a frequency of 50 Hz are possible. If a device protection with residual current circuit breaker is provided, the leakage current can have a negative effect on the protective device. A triggering of the protective device without a fault being present can be the result.

The **LEAK**COMP® ***1C*** from EPA compensates the operational leakage currents occurring in the plant / machine and thus prevents false tripping of residual current protective devices caused by too high 50 Hz leakage currents. This functionality is provided by all commercially available residual current circuit breakers of type A, F, B and B+ (short-time delayed (KV) version recommended). The level of the 50 Hz compensation current is by default 5 mA and can be increased to 11 mA by means of a wire bridge. If the compensation current is not sufficient to compensate the leakage current, additional **LEAK**COMP® ***1C*** can be connected in parallel. It should be noted that for safety reasons the **LEAK**COMP® ***1C*** must always be switched on and off at the same time as the consumer(s). An overcompensation must be avoided.

LEAKBUSTER®

LEAKBUSTER® ist eine frequenzumrichtergebundene Ableitstromfestkompensation für betriebsbedingte Ableitströme. Dieser kommt immer dort zur Anwendung, wo aufgrund technischer Umstände die universellen, automatisch abgleichenden Geräte der **LEAK**COMP® ***HP*** Reihe nicht eingesetzt werden können.

Es können maximal 3 Frequenzumrichter, durch eine Ankopplung an den Zwischenkreis, gleichzeitig kompensiert werden.

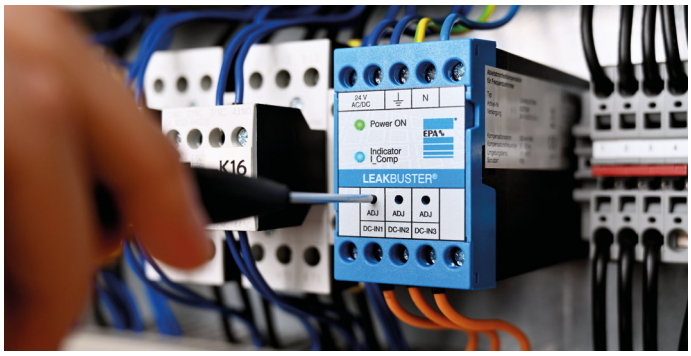
LEAKBUSTER®

LEAKBUSTER® is a frequency inverter-bound leakage current fixed compensation for operation-related leakage currents. It is used wherever the universal, automatically adjusting devices of the **LEAK**COMP® ***HP*** series cannot be used due to technical circumstances.

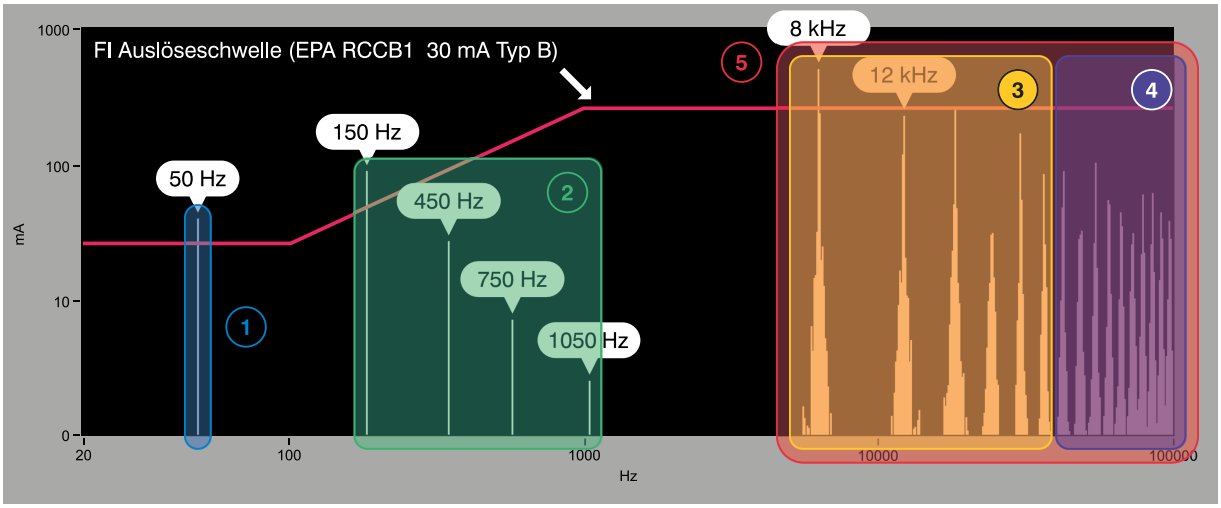
A maximum of 3 frequency inverters can be compensated at the same time by coupling to the DC link.

Frequenzumrichtergebundene Ableitstromkompensation | Frequency inverter bound leakage current compensation

LEAKBUSTER®

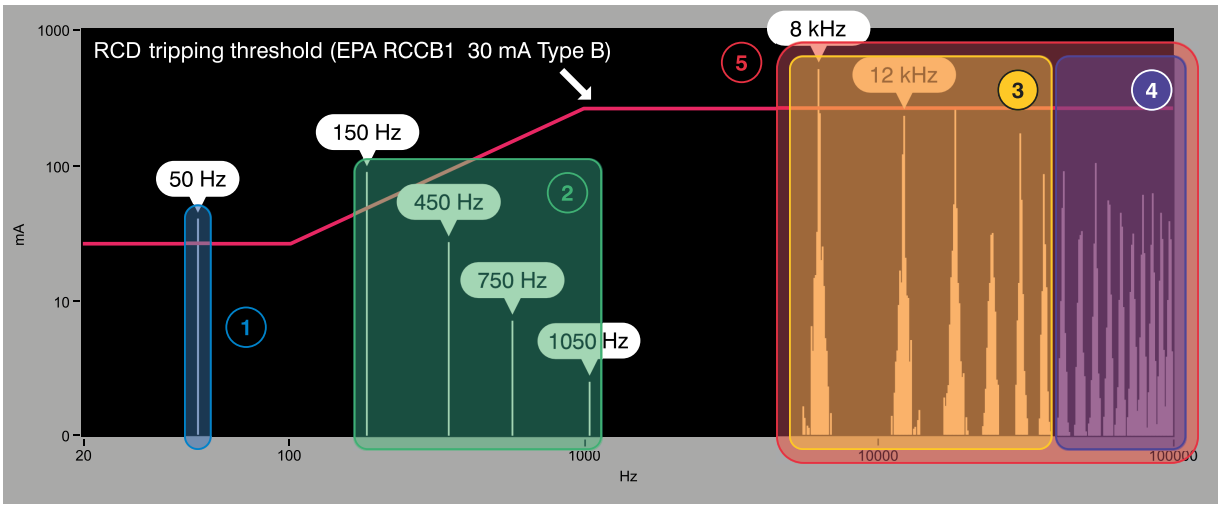


Zusammenfassung Ableitströme



Nr.	Frequenzbereich	Typische Ableitstrom-Verursacher	Empfohlenes Produkt
1	50 Hz	Netzteil, EMV-Filter, Y-Kondensator	**LEAK**COMP® ***1C***
	50 Hz	Umrichter 1-phasig mit internem EMV-Filter	**LEAK**COMP® ***1P***
2	150 – 1050 Hz	Umrichter 3-phasig mit internem EMV-Filter	**LEAK**COMP® ***HP***
3	2k – 50k Hz	Lange geschirmte Motorleitungen	NF-DAR
4	50k – 100k Hz	EMV-Filterung unzureichend	NF-KC
5	2k – 100k Hz	Lange gesch. Motorleitungen + EMV-Filterung unzureichend Netzfilter fehlt bzw. ungenügende Dämpfung im EMV-Bereich	NF-KC-DAR

Summary leakage currents



No.	Frequency range	Typical causes of leakage current	Recommended product
1	50 Hz	Power supply unit, EMC filter, Y-capacitor	**LEAK**COMP® ***1C***
	50 Hz	1-phase inverter with internal EMC filter	**LEAK**COMP® ***1P***
2	150 – 1050 Hz	3-phase inverter with internal EMC filter	**LEAK**COMP® ***HP***
3	2k – 50k Hz	Long shielded motor cables	NF-DAR
4	50k – 100k Hz	Insufficient EMC filtering	NF-KC
5	2k – 100k Hz	Long shielded motor cables + insufficient EMC filtering Line filter missing or insufficient attenuation in the EMC range	NF-KC-DAR

Schutzleiter-Überwachungsgerät PECON+

Bei betriebsbedingten Ableitströmen > 3,5 mA gelten normativ besondere Anforderungen (siehe unten).

Für die ständige Überwachung der korrekten Funktion der Schutzleiterverbindung (PE) zur Feststellung der elektrischen Sicherheit bei Maschinen und Geräten ist der **PE**CON+ die richtige Wahl.

Der Einsatz ist besonders wichtig bei:

- häufig wechselnden Standorten mit erneutem Einstecken und Lösen der elektrischen Spannungsversorgung
- der Verwendung der Geräte von Laien (z. B. Schausteller, Bauarbeiter, usw.)
- der Benutzung unbekannter Netzsteckdosen (CEE oder auch Schuko)
- Einsätzen mit Verlängerungsleitungen oder Kabeltrommeln.

PE conductor monitoring device PECON+

For operational leakage currents > 3.5 mA special normative requirements apply (see below).

The **PE**CON+ is the right choice for continuous monitoring of the correct function of the protective conductor connection (PE) to determine the electrical safety of machines and devices.

Its use is particularly important for:

- frequently changing locations with re-plugging and unplugging of the electrical power supply
- use of the devices by laymen (e.g. showmen, construction workers, etc.)
- use of unknown mains sockets (CEE or even Schuko)
- applications with extension cables or cable drums.

PECON+

PECON+

Ist der PE unterbrochen oder zu hochohmig, dann kann es gefährlich werden! Betriebsbedingte Ableitströme können unter Umständen nicht mehr zum Erdpotential abgeleitet werden und können bei einer Berührung zu einem elektrischen Schlag führen.

Der **PE**CON+ überprüft kontinuierlich die korrekte Spannungsversorgung, das Verpolen von Phase und Neutralleiter und vor allem, ob das überwachte Gerät sicherheitstechnisch ausreichend mit dem PE verbunden ist, um bereits vor einem möglichen Schadensfall, wie z. B. bei Erdschluss einer Phase, eine unverzügliche Alarmmeldung auszugeben.

If the PE is interrupted or too high-impedance, it can be dangerous! Operating leakage currents may not be able to be discharged to earth potential under certain circumstances and may lead to an electric shock if touched.

The **PE**CON+ continuously checks the correct voltage supply, the polarity reversal of phase and neutral conductor and, above all, whether the monitored device is connected to the PE in a way that is adequate in terms of safety, in order to to issue an immediate alarm message even before a possible case of damage, e.g. earth fault of one phase

Der **PE**CON+ kann zur Einhaltung der folgenden Normen verwendet werden:

- DIN EN 50178 / VDE 0160
  Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- DIN EN 60204-1 / VDE 0113-1
  Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen
- DIN EN 61800-5-1 / VDE 0160-105
  Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl - Anforderung an die Sicherheit

The **PE**CON+ can be used to comply with the following standards:

- DIN EN 50178 / VDE 0160
  Electronic equipment for use in power installations
- DIN EN 60204-1 / VDE 0113-1
  Safety of machinery - Electrical equipment of machines
- DIN EN 61800-5-1 / VDE 0160-105
  Adjustable speed electrical power drive systems - Safety requirements

Notizen | Notes

Alle Angaben ohne Gewähr auf Richtigkeit und Genauigkeit. | All information without liability for correctness and accuracy.

Überreicht durch: | Presented by:

EPA GmbH

Fliederstraße 8, D-63486 Bruchköbel
Deutschland / Germany

Telefon / Phone: +49 (0) 6181 9704 - 0
Telefax / Fax: +49 (0) 6181 9704 - 99

E-Mail: info@epa.de
Internet: www.epa.de

Marken – Geschäftliche Bezeichnungen
Die erwähnten Firmen- und Produktnamen dienen ausschließlich der Kennzeichnung und werden als solche ohne Berücksichtigung eines eventuell bestehenden gewerblichen Schutzrechtes genannt. Das Fehlen der Kennzeichnung eines eventuell bestehenden gewerblichen Schutzrechtes bedeutet nicht, dass der erwähnte Firmen- und / oder Produktname frei ist. Das EPA-Logo und EPA-Zeichen sind eingetragene Warenzeichen der EPA GmbH. Alle Rechte und technische Änderungen vorbehalten. Stand: 28.20d/e/04.21a Best.-Nr.: 50275746

Brands – business names – work titles
Company and product names used by EPA are used only for labelling and are mentioned without taking into account any commercial protection right; the lack of the marking of a possibly existent commercial protection right does not mean that the used company and / or product name is available. The EPA logo is a registered trademark for the EPA GmbH.
All rights reserved. Technical changes without notice. Release: 28.20d/e/04.21a Order no.: 50275746