

Entstörfilter – Verursacher von Schutzleiterströmen

S. Fassbinder, Düsseldorf

Im Rahmen der Beantwortung einer Leserfrage [1] wurde ausführlich auf die Ermittlung der durch Entstörfilter verursachten Ableitströme eingegangen – und dennoch: In letzter Zeit entwickelt sich dieses Thema zu einem Fass ohne Boden. Eine Vorhersage oder Berechnung der in der Praxis tatsächlich auftretenden Schutzleiterströme ist heute gar nicht mehr möglich.

1 Schutzleiterströme in Theorie und Praxis

Alle gängigen Berechnungsmethoden und Betrachtungen erfassen nur den 50-Hz-Anteil der entstehenden Schutzleiterströme. Wären jedoch ausschließlich Spannungen und Ströme einer Frequenz von 50 Hz im Netz vorhanden, wären Entstörfilter unnötig, denn es gäbe gar keine Störungen zu filtern. Ein solcher Filter dient dazu, hochfrequente Störungen gegen den Schutzleiter hin abzuleiten – und eben das tut er. Dass dabei auch etwas Betriebsstrom von 50 Hz mit abgeleitet wird, nimmt man in Kauf. Diese Nebenwirkung lässt sich berechnen – vorausgesetzt, es ist bekannt, wie viele solcher Filter in einem Stromkreis zum Einsatz kommen.

Als diese Technik eingeführt wurde, wurde noch angenommen, es werde wohl immer nur wenige Geräte geben, die solche Entstörmaßnahmen benötigen. Somit wurde an mit 16 A abgesicherten einphasigen Stromkreisen mit einer Nennspannung von 230 V ein Ableitstrom von 3,5 mA je Gerät zugelassen. Welch ein historischer Irrtum, denn während es heutzutage in Haushalt, Gewerbe und Industrie von getakteten elektronischen Geräten nur so wimmelt, geht gleichzeitig die Tendenz hin zu niedrigeren Nenn-Auslöseströmen der Fehlerstrom-Schutzschalter, von 500 mA zu 300 mA in Anlagen und von 30 mA zu 10 mA in Endstromkreisen – in Zukunft vielleicht in allen Endstromkreisen, nicht nur in denen für Prüfplätze, Bäder und Außensteckdosen. Aufgrund der Tatsache, dass der tatsächliche Auslösestrom laut Norm [2] zwischen 50 % und 100 % des Nennwerts betragen muss, können heute allein fünf an einem Prüfplatz aufgestellte Computer, bei moderner Ausstattung mit $I_{\Delta FN} = 10$ mA bereits zwei Stück, ausreichen, um den Fehlerstrom-Schutzschalter ungewollt und unnötigerweise auszulösen. Dabei müssen die Rechner noch nicht einmal eingeschaltet sein. Da diese Filter meist vor dem Netzschal-

ter angeordnet sind, sofern der PC überhaupt über einen Netzschalter verfügt, liegen sie ständig an Spannung, auch im „abgeschalteten“ Rechner.

Zudem gibt zuvor beschriebene Betrachtung nur die rechnerisch für 50 Hz ermittelten Werte wieder. Bei hohen Frequenzen werden die Ableitströme allerdings erheblich höher, da die Reaktanzen (Blindwiderstände) der Filterkondensatoren umgekehrt proportional zur Frequenz verlaufen. Die Ansprechschwelle sinkt in Anwesenheit solcher Überlagerungen also noch tiefer – und es ist unmöglich vorherzusagen, wie tief sie absinken, denn weder kennt man Höhe und Frequenzen der überlagernden Ströme, noch ist bekannt, inwieweit die jeweilige Fehlerstrom-Schutzschaltung auf hochfrequente Ströme überhaupt reagiert. Sicher ist zwar, dass sie hierauf weniger empfindlich anspricht als auf die Netzfrequenz, aber ebenso sicher ist, dass ein Einfluss irgendeines Ausmaßes besteht. Zwar ergänzt sich dieses Verhalten prinzipiell mit dem Risiko eines Stromschlags insofern, als auch der menschliche Körper auf Strom höherer Frequenz weniger empfindlich reagiert, doch solange sich dieser Einfluss nicht quantifizieren und auch nicht normativ entsprechend klassifizieren lässt, ist das für den im Stromkreis „hängenden“ Menschen ein schwacher Trost.

2 Ein Versuch zur Veranschaulichung

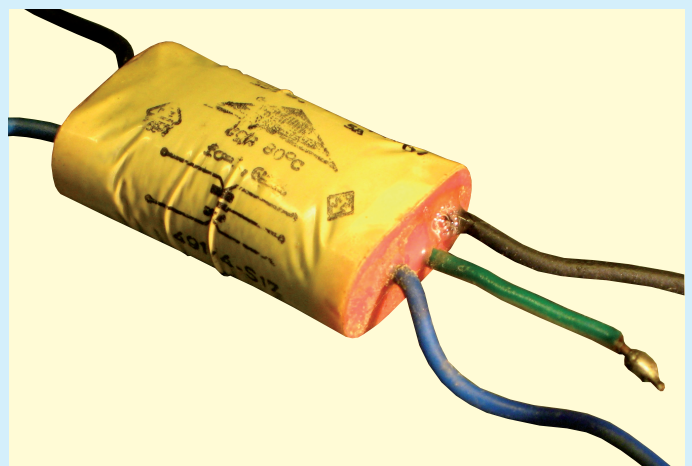
In einem Versuch wurde eine 30-W-Kompakt-Sparlampe als potentielle Ableitstromquelle eingesetzt. Oberhalb von 25 W Nennleistung gelten für Lampen und Leuchten laut Norm [3] Oberschwingungs-Grenzwerte, die sich nur mit Hilfe einer elektronischen Leistungsfaktor-Korrektur (PFC: Active power factor correction) einhalten lassen. Diese erzeugt am Eingang des jeweiligen Geräts eine hohe Frequenz, die sich also nach den Eigenschaften dieses Geräts und des Netzes mehr oder weniger stark im Netz ausbreitet. Dabei kann die Lampe selbst natürlich keinen Schutzleiterstrom verursachen, weil sie keinen Schutzleiter-Anschluss hat. Das hochfrequente Zerschneiden des Eingangsstroms verursacht jedoch einen je nach der Impedanz des Netzes bei dieser Frequenz entsprechend größeren oder kleineren Spannungsfall. Diese hochfrequente Überlagerung ist zwar wesentlich kleiner als die Netzfrequenz selbst, in der Regel deutlich unter 1 V, kann aber wegen der wesentlich höheren Frequenz doch zu einem erheblichen Ansteigen des Filterstroms führen. Da man im Einzelfall weder diese Frequenz, noch die Impedanz des Netzes kennt, wird es vollkommen unmöglich, den Ableitstrom vorzuberechnen, geschweige denn in irgendeiner Form zu „normieren“.

Der nachfolgend beschriebene Versuch sollte lediglich beispielhaft aufzeigen, womit man rechnen muss – dies tat er sehr viel weitergehend als erwartet:

Ein vor einigen Jahren aus einem Gerät der Schutzklasse I ausgebauter, handelsüblicher Y-Kondensator diente als erster Prüfling. Der Ableitstrom sollte mit und ohne die hinter dem Filter angeschlossene Lampe gemessen werden, doch so weit kam es gar nicht erst. Sofort nach Anlegen der Spannung an den Filter fing der Strom, insbesondere dessen Wirk-Anteil, an zu steigen, der Filter bekam „dicke Backen“ (Bild 1), wurde entsprechend warm und es trat zischend Qualm aus – Abbruch!

1 Ein typischer Y-Kondensator – hier das alte, ausgebaute Exemplar des ersten Versuchs

Nach wenigen Minuten an Spannung zeigen sich „dicke Backen“ und „Rauchzeichen“

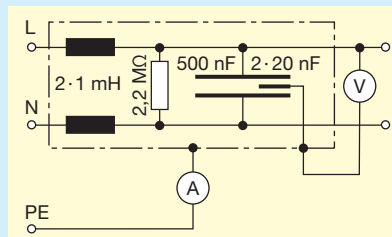


Autor

Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder, Düsseldorf, ist Berater für elektrotechnische Anlagen bei dem Deutschen Kupferinstitut (DKI).



② Der dem äußeren Anschein nach noch vollkommen intakte Filter des zweiten Versuchs

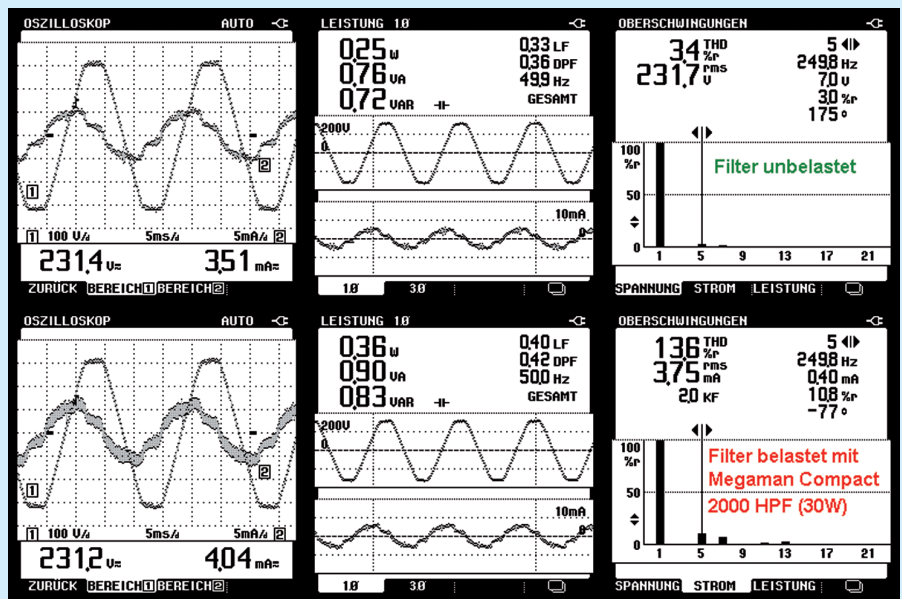


③ Schaltbild des zweiten Versuchs

3 Weiterer Versuch mit einem anderen Filter

Bei einem zweiten Versuch kam ein solideres Filter-Modell mit Metallgehäuse aus einer Waschmaschine an die Reihe (Bild ②) – zwar auch schon sehr alt, aber anscheinend sehr solide aufgebaut, gut erhalten und sogar mit Induktivitäten ausgestattet (Bild ③). Somit war der beschriebene Effekt hieran noch viel eher zu erwarten, denn eine solche Prüflast, wie hier verwendet, entlässt, wie zuvor beschrieben, hochfrequente Ströme zwischen L und N in das Netz. In beiden aktiven Leitern liegen hier jedoch Induktivitäten. Für die hochfrequenten, von ihrer Quelle (der Lampe) „rückwärts“ in Richtung Netz fließenden Ströme (im Bild ③ also von rechts nach links) ist hier kaum ein Durchkommen – die hohen Frequenzen „stauen sich“ vor dem Hindernis. Aber halt, da gibt es doch zumindest für den „Rückweg“ einen Umgehungsleiter über die Erdkapazität sowie den PE-Leiter an der im Neutraleiter angeordneten Drossel vorbei. Irgendwo in der Anlage weiter „stromaufwärts“ sind N- und PE-Leiter dann miteinander verbunden. Dort schließt sich der Stromkreis.

Fazit: Dieser Filter verdrängt Ströme höherer Frequenzen vom Neutraleiter auf den Schutz-



④ Messungen an der Schaltung nach Bild ③

leiter und erzeugt somit erhöhte Ableitströme auf dem Schutzleiter!

Diese Ströme sind nicht sinusförmig und lassen sich somit nicht vektoriell analysieren, wie es für den 50-Hz-Anteil sehr wohl möglich ist und in der erwähnten Leserfrage [1] durchgeführt wurde. In dem vorliegenden Fall lässt sich aus der Netzspannung von 230 V, der Netzfrequenz von 50 Hz sowie der Erdkapazität von 20 nF ein Ableitstrom $< 1,5$ mA errechnen. Gemessen wurden Effektivwerte von 3,5 mA ohne Prüflast und von 4,0 mA mit Prüflast. Das ist ein Unterschied von 2 mA oder > 130 % zwischen Theorie und Praxis – selbst ohne Prüflast, denn die Netzspannung ist bereits durch diverse andere Einflüsse von höheren Frequenzen überlagert, die von den „üblichen“ Oberschwingungen bis in den HF-Bereich reichen. So gerade eben noch ist es gelungen, diesen Effekt messtechnisch aufzunehmen. Wie in der Schaltskizze (Bild ③) dargestellt, wurde die Spannung an der Ausgangsseite erfasst und ist dort mit Last erwartungsgemäß stärker von hochfrequenten Anteilen überlagert als im Leerlauf des Filters (Bild ④). Dann ging es aber schon wieder los: Die Wirkleistung am Filter fing an zu steigen, und der Filter wurde warm – Abbruch!

Normalerweise erwartet man von einer Waschmaschine eine Lebensdauer von etwa 15 Jahren. Es können aber auch manchmal 25 Jahre werden. Wäre dieser Filter in der Waschmaschine verblieben, so hätte er also unter Umständen 25 Jahre lang ununterbrochen an Spannung gelegen, denn auch bei Waschmaschinen sind diese Filter elektrisch vor dem Netzschalter angeordnet.

Einleuchtende Erklärung eines renommierten Waschmaschinen-Herstellers für diese Art der Anordnung: Der Filter muss elektrisch,

also letztlich auch räumlich, unmittelbar am Eintritt der Netzanschlussleitung in das Gerät angeordnet werden, um seine Wirksamkeit vollumfänglich entfalten zu können. Der Netzanschluss befindet sich jedoch auf der Rückseite der Waschmaschine. Den Netzschalter dorthin zu verlegen träfe wohl auf ebenso wenig Verständnis bei den Nutzern wie eine an der Frontplatte austretende Netzanschlussleitung.

4 Fortsetzung Freiland-Versuch

Solche Versuchsabbrüche sind mit echtem Forscherdrang und Pioniergeist inkompatibel. Was wäre denn nun gewesen, wenn der Entstörfilter aus dem zweiten Versuch weiterhin in einer Waschmaschine seinen Dienst hätte verrichten sollen? Die Antwort auf diese Frage wurde als unentbehrlich definiert und der Versuch somit fortgeführt – aus Sicherheitsgründen allerdings im Freien. Das war eine gute Idee, denn ungefähr 7 Minuten Vorwärmen, wenn auch ohne angeschlossene Last, aber ansonsten wie im bestimmungsgemäßen Gebrauch, d. h. also auch mit angeschlossenem Schutzleiter (Bild ⑤), waren bereits ausreichend. Zwar hatte sich der Filter erst ziemlich lau erwärmt, doch schon ertönte ein knatterndes Geräusch und Funken stoben aus der Seite des Leitungseintritts. Eine Rauchwolke zog von dannen und der beßende Geruch zum Glück hinterher. Auf der verwendeten brandbeständigen Unterlage blieb eine Rußspur zurück. Der Fotograf, obwohl schon viel gewöhnt, verriß vor Schreck die Kamera und verpasste dadurch den entscheidenden Moment, obwohl ein Stativ im Einsatz war – dummerweise musste für die

Mehr Elektropraxis geht nicht!

- Die aktuelle Heft-Ausgabe ist über das Internet jederzeit verfügbar.
- 10 ep-Jahrgänge im Online-Archiv, mit umfangreichen Suchfunktionen.
- Persönliche Info bei Normenänderungen, auch über die VDE-Regelwerke hinaus.
- Normendienst-Datenbank – 6.000 Regelwerke im Überblick.
- Preisvorteile für INSTROM pro und Bücher der ep-Reihe.
- 6 Ausgaben ep-Photovoltaik sind im Paket inklusive.

**Sparen Sie Zeit und Nerven,
gewinnen Sie mehr Sicherheit.**

**Jetzt 4 Wochen
kostenfrei testen!**

Weitere Infos unter www.elektropraktiker.de



Ja, ich möchte das ep-Angebot testen!



☐ Ich bestelle eine kostenfreie Leseprobe des **ELEKTRO PRAKTIKER**

☐ inkl. Gastzugang zum Online-Paket **epPLUS**

Melde ich mich bis 14 Tage nach Erhalt des Probeheftes nicht, möchte ich die Zeitschrift (mit/ohne epPLUS-Paket) für mindestens ein Jahr zu den bekannten Konditionen weiter beziehen.

Bezugskonditionen:

Jahresabonnement ep – normal: 12 Ausgaben jährlich für 64,20 € zzgl. 9,60 € Porto und Versandkosten (Inland)

Jahresabonnement – mit epPLUS Zusatz-Paket: pro Monat zusätzlich 2,85 €

Das ep-Abonnement verlängert sich jeweils um ein Jahr, wenn es nicht 6 Wochen vor Ablauf des Kalenderjahres schriftlich gekündigt wird.

Antwort

HUSS-MEDIEN GmbH

Elektropraktiker-Leserservice

10400 Berlin

A012/EP

Firma/Name/Vorname

z. Hd.

Telefon/Fax

E-Mail

Straße/Nr.

Postfach

PLZ/Ort

Datum/Unterschrift

Serienbildfunktion der Auslöser dauerhaft gedrückt werden.

Aber was heißt schon „verrissen“? Es ließe sich auch behaupten, der Kameramann habe versucht, die Kamera dem Objekt bei dessen durch Rückstoß getriebenen Ausreißversuch nachzuführen, und habe dabei nur einen Teilerfolg erzielt (Bild 6). Hingegen war die Prüfung der elektrischen Anlage ein voller Erfolg auf ganzer Linie: Sowohl der Hausautomat B 16 A als auch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ($I_{\Delta FN} = 500 \text{ mA}$) lösten ordnungsgemäß aus.

5 Bilanz

Wäre der Filter aus dem zuvor beschriebenen Versuch noch in einer Waschmaschine eingebaut und die Bewohner in Urlaub gewesen, so wäre die Kühltruhe aufgetaut. In Präzedenzfällen wird von Verwesungsgeruch berichtet, der schon an der Haustür wahrnehmbar ist. Hiergegen ist eine verpatzte Aufnahme der „Lindenstraße“ fast noch ein erträglicher Schaden. Der Erholungswert eines Urlaubs mit einem solchen Ende darf wohl angezweifelt werden.

Der zuvor geprüfte Y-Kondensator hatte solch spektakuläre Ausfallszenarien nicht geboten. Obwohl jener Versuch an einem Prüfplatz mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung $I_{\Delta FN} = 30 \text{ mA}$ durchgeführt worden war, kam es zu keiner Auslösung. Hierbei muss man allerdings wohl von mehr Glück als Verstand sprechen. Der Kondensator ist deutlich geschädigt. Die Wirkleistungs-Aufnahme liegt noch immer bei 0,3 W. Im Neuzustand sollte überhaupt keine mit einem handelsüblichen Messgerät messbare Wirkleistung auftreten. Dieser Filter kann demnach jederzeit wieder anfangen, sich zu erwärmen. Die Kapazität L gegen N beträgt noch lediglich 131 nF statt der aufgedruckten 200 nF. Der Rest lässt sich aber anscheinend

auf die Erdkapazitäten „hinüberquetschen“, denn die Kapazitäten der L- und N-Anschlüsse gegen den PE-Anschluss, die jeweils 2,5 nF hätten betragen sollen, liegen zwischen 6 nF und 60 nF – je nach dem, ob man den Filter auf der Tischfläche des Prüfplatzes liegen lässt oder mit leichtem Druck anfasst.

Der nächste Kracher kommt bestimmt – und wenn nicht, dann zumindest die Auslösung des 30-mA-Fi-Schalters. Ab 15 mA kann es so weit sein, und mit 60 nF ergeben sich bereits 4,3 mA Blindstrom. Hinzu kommt unter Umständen auch noch der Wirkstrom (ganz oder in Teilen), der die Wärmeleistung von 0,3 W erzeugt.

Bemerkenswert ist dabei, dass solche Filter vor allem in Rechnern und Rechenanlagen eingebaut werden, von denen extrem hohe Verfügbarkeit erwartet wird. Es ist also möglich, dass dieser Rechner oder ein Teil eines ganzen Rechenzentrums nur wegen eines trivialen kleinen Bauteils ausfällt, das mit der eigentlichen Funktion des Rechners noch nicht einmal etwas zu tun hat, sondern nur mit dessen selbst verursachtem Schmutz, den er nicht in das Netz entlassen darf. Gutachter berichten von einer zunehmenden Häufung solcher Schäden sowie von dadurch bedingten Ausfällen und Störungen – manche noch häufiger als andere [4].

Sicher darf man davon ausgehen, dass neue Filter eine wesentlich bessere Zuverlässigkeit aufweisen. Nicht umsonst werden z. B. bei dem zuvor erwähnten Waschmaschinen-Hersteller sowie vorher schon bei den Herstellern der Filter selbst diese Produkte mit 6 kV geprüft, die dann nachher im praktischen Betrieb nur mit 230 V (zuzüglich gelegentlicher Transienten) belastet werden, damit auch ausreichend Reserven für die unausweichliche Alterung vorhanden sind. Bei der Beschaffung neuer Bauteile sollte also in diesem Fall ganz besonders auf die hohe Qualität anerkannter Produkte von Rang und Namen sowie auf Prüfzeichen geachtet

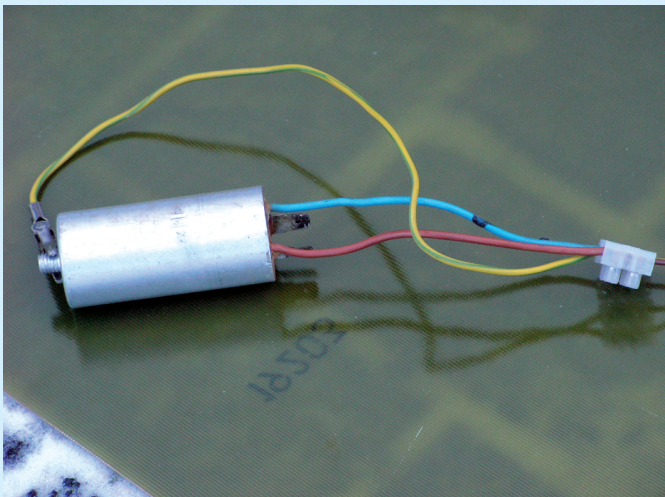
werden, auch bei der Ersatzteil-Beschaffung für Reparaturen. Es sind noch genügend alte und uralte Filter in Betrieb, die bei passender Gelegenheit besser vorsorglich ausgetauscht werden sollten, ehe die Waschmaschine „abhebt“.

6 Ein Schutzleiter und ein „Schmutzleiter“

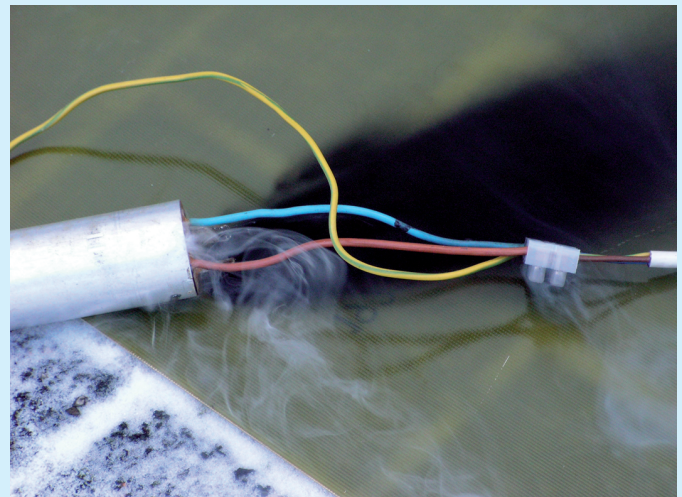
Die Zyniker unter den Fachleuten äußern ihre Schadenfreude zum Teil unverhohlen, wenn solche Entstörfilter ausfallen, die ihre (Ent-?) Störströme über den Schutzleiter entsorgen und diesen so zu einem „Schmutzleiter“ verkommen lassen. Auch ohne jeden Defekt ist dies eine Zweckentfremdung des Schutzleiters und stellt damit nach den Oberschwörungen das nächste heiße Thema dar.

Mit der Anfrage eines Mitarbeiters der Firma MAN Roland Druckmaschinen (jetzt „man-roland“) nahm das Thema konkrete Formen an. Der Ingenieur hatte eine Anfrage bei der DKE eingereicht, in der er sich erkundigte, wie er denn mit seinen Anlagen verfahren solle. Derzeit würden große Druckmaschinen nicht normgerecht geliefert, weil dies leider unmöglich sei. Der Mitarbeiter berichtete von Ableitströmen, die in den größten gefertigten Anlagen mit einer Vielzahl von Stromrichter-Antrieben eine Höhe von bis zu 30 A erreichen können, während die VDE 0100 fordert, solche Anlagen über einen Fehlerstrom-Schutzschalter mit $I_{\Delta FN} = 500 \text{ mA}$ anzuschließen. Ein schon lange in verschiedenen Normungsgremien der DKE tätiger Mitarbeiter der Firma Siemens ergriff die Initiative und gründete anlässlich dieser Anfrage den neuen Arbeitskreis „Schutzleiterströme“, der sich diesem Problem widmet.

Während es in den letzten Jahren zusehends schwieriger wird, dringend benötigte Praktiker aus der Industrie für die Normungsarbeit zu

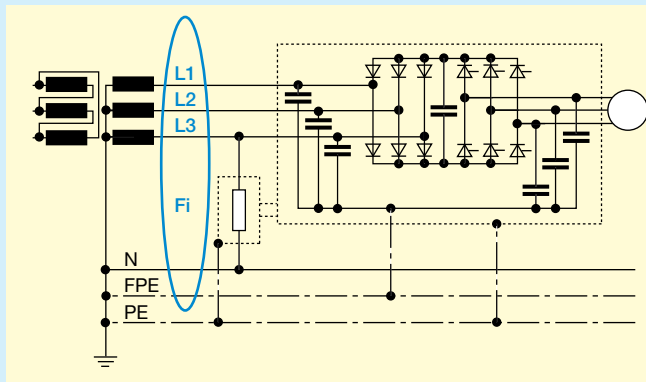


5 Test eines alten Entstörfilters aus einer Waschmaschine



6 Nach etwa 7 Minuten tritt Rauch aus dem Filter aus

7 6-Leiter-Netz nach dem „TN-S-S-System“ mit getrenntem (stromlosem) Schutzleiter PE und Ableitstrom führenden dem Funktions-Potentialausgleichsleiter FPE



gewinnen, ließen sich zu diesem Thema in kürzester Zeit 30 Mitarbeiter rekrutieren. Allen brennt das Problem unter den Nägeln. Man bemüht sich nun bei der DKE um neue Wege, das Problem sowohl normativ als auch technisch beherrschbar zu machen. Zunächst stehen Möglichkeiten zur Diskussion, um die Ableitströme zu reduzieren. Diese Möglichkeiten gibt es wohl, doch lösen sie letztlich die Probleme nicht. Eine Senkung um 99 % wäre einerseits eine völlig unrealistische Zielvorstellung, würde aber andererseits die größte Druckmaschine von manroland noch immer nicht in einen Bereich bringen, in dem eine 500-mA-RCD mit Sicherheit nicht durch einen Strom auslöst, der gar kein Fehlerstrom ist, sondern ein ganz „normaler“ Betriebsstrom. Natürlich lässt sich eine so große, komplexe Anlage auch „abschnittsweise“ durch eine Aufteilung in mehrere Stromkreise über mehrere Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen betreiben. Der nötige „Sicherheitsabstand“, bei dem es garantiert nie zu einer überflüssigen Abschaltung kommt, ist so jedoch kaum zu realisieren. Der durch eine unnötige Abschaltung einer solchen Maschine im laufenden Betrieb entstehende Sachschaden ist unermesslich und nicht hinnehmbar, Einbußen bei dem hohen erreichten Sicherheitsstandard aber auch nicht. Das Problem ist also noch weit von einer Lösung entfernt. Die diskutierten Lösungsmöglichkeiten hierzu reichen so weit, dass man jetzt, noch bevor der Übergang von dem 4-Leiter-Netz (TN-C-System) zum 5-Leiter-Netz (TN-S-System) in den Normen vollständig vollzogen ist – von der Praxis ganz zu schweigen – schon von einem 6-Leiter-Netz spricht. In Rundfunk-Anstalten mit elektroakustischen Einrichtungen wird dieses schon lange eingesetzt, wenn auch aus einem anderen Grund: Nicht die Ableitströme der Entstörfilter, sondern induktive Einkopplungen von dem Neutralleiter in das auch in einem „sauberen“ TN-S-System (mit nur einer zentral angeordneten Verbindung zwischen N und PE) vermascht aufgebaute PE-/PA-System mussten vermieden werden. So kam man auf den zweiten Erdungsleiter, den Funktions-Potentialausgleichsleiter FPE, der

strahlenförmig aufgebaut ist und deshalb keine Maschen aufweist, in die sich Ströme induzieren lassen. Dieses FPE-System darf Betriebsströme führen, wird folglich mit durch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) geführt (Bild 7) und dient zum Anschluss der PE-Anschlüsse von Y-Kondensatoren und dergleichen. In einem informellen „EMV-Kompetenznetzwerk“ werden diese Lösung und die Erfahrungen aus der Rundfunktechnik hiermit bereits unter der inoffiziellen Bezeichnung „TN-S-S-System“ diskutiert.

Doch ist eine Ausweitung dieser Technik auf die allgemeine Elektro-Energieversorgung die Lösung? Sicher, die Kupfer-Industrie freut sich und manch andere wohl auch, doch wer soll das bezahlen? Der Aufwand liegt hier nicht in den unbedeutenden Mehrkosten für einen sechsten Leiter in einer neu zu errichtenden Anlage, sondern im Aufrüsten bestehender Anlagen und im Schaffen der nötigen Bauteile und Baugruppen, angefangen bei neuen CEE-Steckern, Steckdosen, Steckverbindern und den betreffenden 5-poligen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs), die es zwar schon in Bild 7 gibt, allerdings noch nicht im Elektrogroßhandel.

Die Herren des DKE-Arbeitskreises „Schutzleiterströme“ (Damen sind wieder einmal Mangelware – vielleicht ginge manches sonst besser) werden noch lange brauchen, bis sie das genormt bekommen. Man darf auf die Ergebnisse gespannt sein, denn die Zeit drängt. Die Probleme kommen nicht, sondern sind schon lange da.

Literatur

- [1] Bödeker, K.: Ableitströme bei EMV-Beschaltungen. Leseranfragen; Elektropraktiker, Berlin 62 (2008) 11; S. 967–969.
- [2] DIN VDE 0661-10 (VDE 0661-10):2004-06 Elektrisches Installationsmaterial – Ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ohne eingebauten Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (PRCDs).
- [3] DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2):2010-03 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom = 16 A je Leiter).
- [4] www.sv-otto.de
- [5] Deutsche Kommission für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik im DIN und VDE; www.dke.de