

Kein Problem: RCD vor Frequenzumrichter (1)

Auswirkungen verschiedenartiger Ableitströme

Günter Grünebast

Dieser Beitrag befasst sich mit der komplexen Thematik, die sich rund um den Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD), angeordnet vor Frequenzumrichtern, ergeben. Es gilt bei Planung, Errichtung und Betrieb solcher Anlagen eine Reihe von Dingen zu beachten.

Mehrphasig betriebene elektronische Betriebsmittel wie Frequenzumrichter (FU) oder Wechselrichter können im Fehlerfall einen glatten Gleichfehlerstrom erzeugen (Bild 1).

Dieser durch die B6-Schaltung im Eingang des FU hervorgerufene glatte Gleichfehlerstrom würde eine herkömmliche RCD vom Typ A oder AC nicht auslösen, da im Summenstromwandler der RCD keine zeitlich veränderliche Magnetisierung erfolgt. Diese wäre jedoch für eine induktive Energieübertragung auf das Auslöserelay der RCD notwendig.

Je nach Höhe bewirkt der Gleichfehlerstrom stattdessen eine Vormagnetisierung des Wandlerkerns und erhöht so noch die Auslöseschwelle der RCD für bezüglich möglicherweise noch vorhandener Wechselfehlerströme. Im ungünstigsten Fall löst eine RCD unter diesen Bedingungen überhaupt nicht aus.

Man unterscheide zwischen Fehler- und Ableitstrom

Fehlerströme weisen überwiegend ohmschen Charakter auf und entstehen durch Isolationsfehler zwischen spannungsführenden Teilen und Erde – beispielsweise aufgrund von Schmutz und Feuchtigkeit in einem Gerät (Bild 2). Ein anderes Beispiel wäre ein Stromfluss zur Erde, wenn eine Person direkt einen aktiven Leiter des Netzes berührt.

Ableitströme sind betriebsbedingte Ströme überwiegend kapazitiver Art

Dipl.-Ing. (FH) Günter Grünebast,
Entwicklungsleiter Differenzstromschutz-
technik, Doepke Schaltgeräte GmbH & Co.
KG, Norden

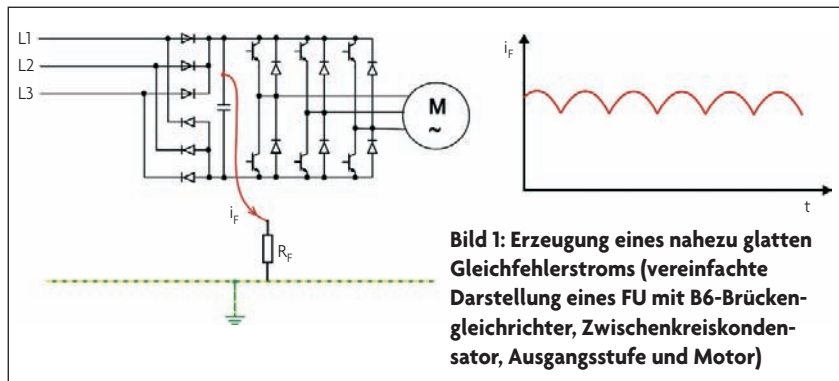


Bild 1: Erzeugung eines nahezu glatten Gleichfehlerstroms (vereinfachte Darstellung eines FU mit B6-Brückengleichrichter, Zwischenkreiskondensator, Ausgangsstufe und Motor)

und fließen z.B. aufgrund von Entstörmaßnahmen durch Kondensatoren in EMV-Filtern oder über die Kapazität langer abgeschirmter Leitungen zur Erde (Bild 3).

Sowohl Fehlerströme als auch Ableitströme können – je nach Anwendung und elektrischer Anlage – mehrere, von der Netzfrequenz 50 Hz deutlich verschiedene Frequenzanteile gleichzeitig aufweisen. Die RCD kann Fehler- und Ableitströme nicht voneinander unterscheiden und bewertet sie deshalb gleichermaßen. So kann eine Auslösung bereits erfolgen, wenn die Summe aller fließenden Ableitströme die Auslöseschwelle der RCD überschreitet. Und dies, obwohl kein Fehler (Fehlerstrom) in der elektrischen Anlage vorliegt.

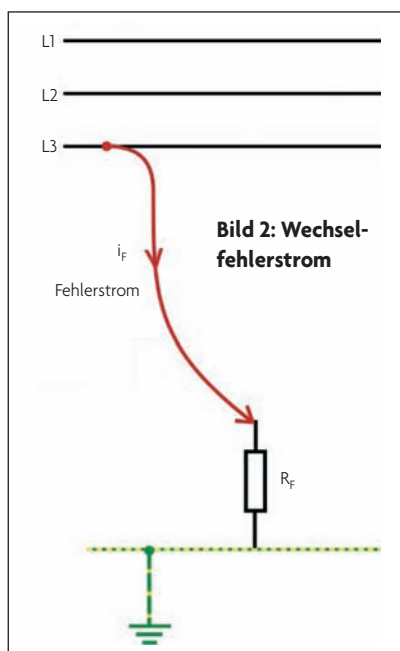


Bild 2: Wechselfehlerstrom

Fehlerströme in elektrischen Anlagen mit Frequenzumrichtern

Beim Betrieb einer Asynchronmaschine mit einem Frequenzumrichter hängt die Kurvenform des Fehlerstroms von der Fehlerstelle ab (Bild 4).

Isolationsfehler am Eingang des Frequenzumrichters

Kommt es zu einem Erdschlussfehler am Eingang des Frequenzumrichters, so fließt ein rein sinusförmiger 50-Hz-Fehlerstrom. Bei entsprechender Höhe des Fehlerstroms erfolgt eine Auslösung der RCD (Bild 5).

Isolationsfehler am Zwischenkreiskondensator

Tritt z.B. ein Isolationsfehler vom Pluspol des Zwischenkreiskondensators zum Gehäuse des Frequenzumrichters auf. Dieser Fehler könnte z.B. durch Schmutz und Feuchteinwirkung verursacht sein. Hier fließt ein nahezu glatter Gleichfehlerstrom. Eine Auslösung bei Verwendung einer RCD vom Typ B ist bei entsprechender Höhe des Gleichfehlerstroms gewährleistet (Bild 6).

Isolationsfehler am Motoranschlusskabel

Beispiel: Der Motor wird mit einer Ausgangsfrequenz (auch als Maschinen- oder Motorfrequenz bezeichnet) von 30 Hz betrieben. Die Schaltfrequenz (auch als Chopper- oder Taktfrequenz bezeichnet) des FU beträgt 8 kHz. Aufgrund einer schadhafte Motorzuleitung entsteht ein Isolationsfehler. Es fließt jetzt ein Fehlerstrom, der aus sehr vielen Frequenzanteilen besteht. Dieser enthält neben der Ausgangsfrequenz 30 Hz mit

geringerer Amplitude auch die Schaltfrequenz des FU mit 8 kHz und deren Oberschwingungen 16 kHz, 24 kHz, 32 kHz usw. mit erheblichem Anteil sowie einem geringen 150-Hz-Anteil, welcher durch die eingangsseitige Sechspuls-Brückengleichrichtung des FU generiert wird. Eine Auslösung durch eine RCD Typ B ist gewährleistet, wenn diese den Fehlerstrom bei hohen Frequenzen und ausreichender Empfindlichkeit erfasst (Bild 7).

Ableitströme in elektrischen Anlagen mit Frequenzumrichtern

Man unterscheidet zwischen stationären, variablen und transienten Ableitströmen. Zur Erläuterung hierzu dient noch einmal das Beispiel einer Anlage mit einem Asynchronmotor, der mit einem Frequenzumrichter (FU) betrieben wird (Bild 4).

Zur Einhaltung der einschlägigen EMV-Vorschriften darf der FU nur über ein vorgeschaltetes EMV-Filter, welches auch schon im FU integriert sein kann, betrieben werden. Da die pulsweitenmodulierte Ausgangsspannung des FU äußerst steilflankig ist und somit Oberschwingungen hoher Amplituden und Frequenzen enthält, darf man den Motor, ebenfalls zur Einhaltung der EMV-Vorschriften, nur über eine abgeschirmte Leitung mit dem FU verbinden.

Stationäre Ableitströme

Das EMV-Filter besteht in der einfachsten Ausführung aus LC-Tiefpässen, deren Kondensatoren im Stern zum Schutzleiter geschaltet sind. In einem idealen Netz mit einer streng sinusförmigen

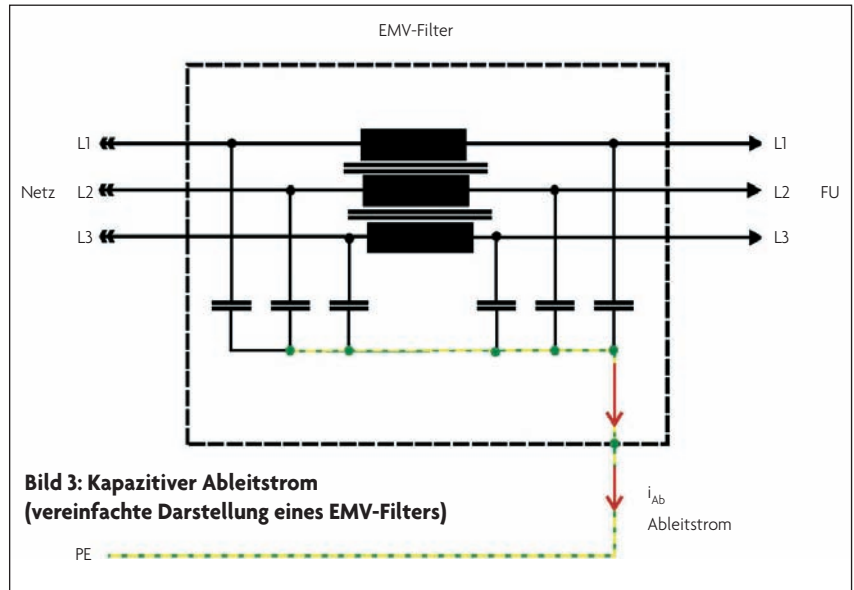


Bild 3: Kapazitiver Ableitstrom (vereinfachte Darstellung eines EMV-Filters)

gen Spannung ergibt die Summe aller kapazitiven Ströme durch diese Kondensatoren null. Durch die mittlerweile starken Verzerrungen der Netzspannung ergibt sich jedoch in der Praxis ein kapazitiver Gesamtstrom ungleich null. Dieser fließt fortwährend über den Schutzleiter ab und wird daher als stationärer Ableitstrom bezeichnet.

Auch die Kommutierung der B6-Brückenschaltung im Eingang des FU führt zu Ableitströmen durch die internen Kondensatoren des EMV-Filters. Der stationäre Ableitstrom ist auch bei nichtlaufendem Motor vorhanden (Reglersperre des FU) und weist dann typischerweise Frequenzanteile von 100 Hz bis 1 kHz sowie Frequenzanteile im Bereich der Eigenresonanzfrequenz des EMV-Filters (typisch im Bereich von 2 bis 4 kHz) auf. Besonders einfache und preiswerte EMV-

Filter mit kleinen Induktivitäten und großen Kondensatoren bewirken hohe Ableitströme und können zur ungewollten Auslösung einer RCD führen.

Einsatz einphasig betriebener Frequenzumrichter

Einphasig betriebene FU statt der Hersteller oft mit einem integrierten EMV-Filter aus. Bei diesem Filter sind die Filterkondensatoren von L nach PE und N nach PE geschaltet. Dadurch entstehen hier nicht unerhebliche 50-Hz-Ableitströme. Bei Verwendung mehrerer FU muss der Planer bzw. Anlagenerrichter deshalb darauf achten, diese zur Kompensation der Ableitströme möglichst gleichmäßig auf die drei Außenleiter L1, L2 und L3 zu verteilen. So lässt sich i. d. R. eine Auslösung der RCD vermeiden.

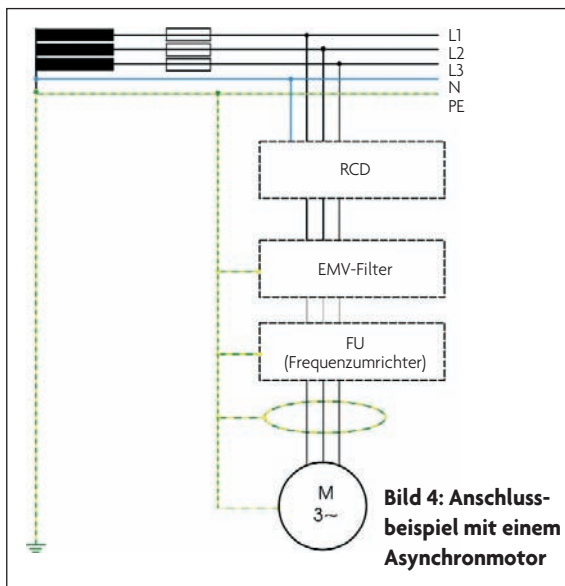


Bild 4: Anschlussbeispiel mit einem Asynchronmotor

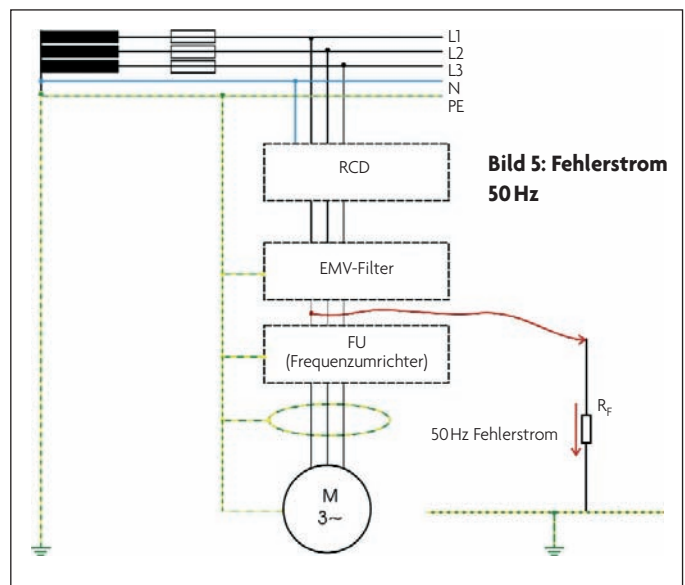


Bild 5: Fehlerstrom 50 Hz

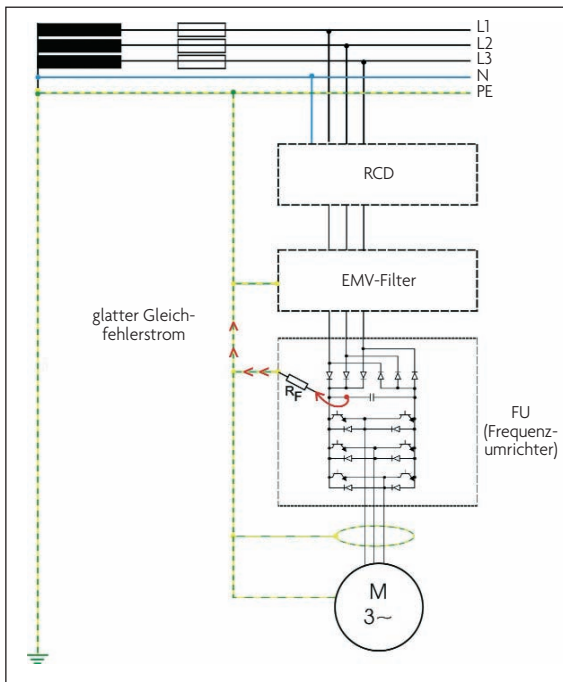


Bild 6: Gleichfehlerstrom

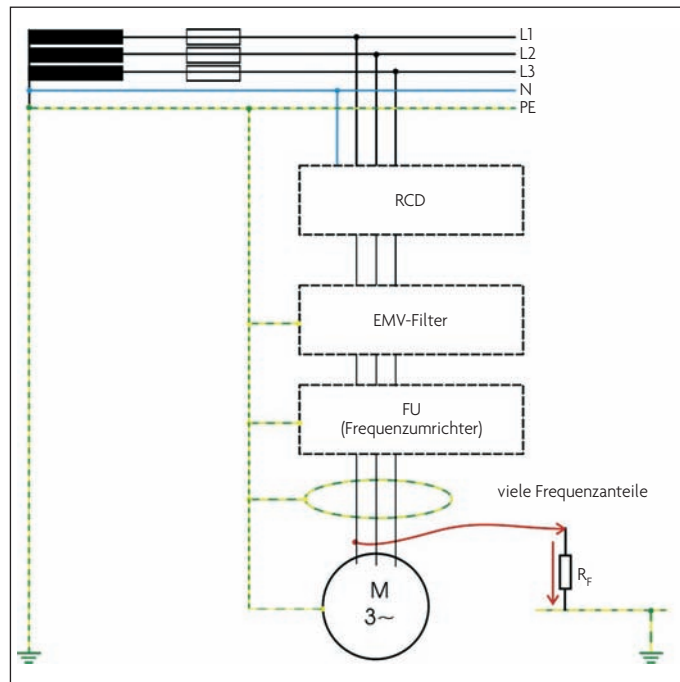


Bild 7: Fehlerstrom mit Frequenzgemisch

Variable Ableitströme

Wird der Motor durch den FU in seiner Drehzahl geregelt, so treten noch weitere Frequenzanteile oberhalb von 1 kHz im Gesamtableitstrom auf. Besonders die Schaltfrequenz des FU (typische Werte: 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz und 16 kHz) und auch die dazugehörigen Oberschwingungen sind mit sehr hoher Amplitude vorhanden. Eine lange Motorleitung mit einer geerdeten Abschirmung wirkt wie ein gegen Erde geschalteter Kondensator. Er leitet Ströme mit entsprechender Frequenz und deren harmonische Oberschwingungen dorthin ab.

Zudem können die Frequenzanteile im Bereich der Eigenresonanzfrequenz des EMV-Filters stark ansteigen, wenn die Schaltfrequenz des FU etwa gleich ist oder einem Vielfachen der Eigenresonanzfrequenz des EMV-Filters entspricht. Das EMV-Filter wird durch die Schaltfrequenz des FU zum Schwingen angeregt und kann sehr hohe Ableitströme im Bereich der Eigenresonanzfrequenz generieren.

Der FU kann bei niedrigen Ausgangsfrequenzen die Schaltfrequenz deutlich verringern. Das geschieht aufgrund seines geänderten Modulationsverfahrens und tritt etwa im Bereich unterhalb von 20 ... 30 Hz auf (auch beim Hoch- und Herunterfahren des Motors). Dies gilt auch dann, wenn am FU eine sehr hohe Schaltfrequenz eingestellt ist (z. B. 16 kHz). Im ungünstigsten Fall ist die dann verringerte Schaltfrequenz etwa

gleich oder ein Vielfaches der Eigenresonanzfrequenz des EMV-Filters, so dass sich der Ableitstrom stark erhöht und somit die Gefahr einer unerwünschten Auslösung einer RCD erheblich steigt.

Stationäre und variable Ableitströme verlaufen bei konstanter Drehzahl des Motors nahezu periodisch. Eine RCD reagiert auf diese Ableitströme mit einer Abschaltung, wenn sie in ihrer Höhe die Ansprechschwelle der RCD bei der jeweiligen Frequenz überschreiten. Veränderungen der Drehzahl bewirken auch eine Veränderung der variablen Ableitströme sowohl im Frequenzspektrum als auch in der Amplitude und können möglicherweise dann eine Auslösung der RCD bewirken.

Transiente Ableitströme

Bei Ausschaltvorgängen treten im Netz infolge der Induktivitäten in den Strompfaden Spannungsspitzen auf, die aufgrund der steilen Anstiegsflanken sehr hohe Frequenzanteile enthalten. Auch durch Einschaltungen bei ungünstigen Phasenwinkeln der Netzspannung enthält das Spektrum der Netzspannung kurzzeitig Hochfrequenzanteile infolge des schnellen Spannungsanstiegs. Diese hochfrequenten Spannungsanteile treiben, über die o. a. Kapazitäten der EMV-Schutzmaßnahmen, transiente Ströme zur Erde, die eine unerwünschte Abschaltung von RCDs bewirken können.

Bei Aufschaltung der Netzspannung mit Schaltern ohne Sprungschaltfunktion werden – je nach Schaltgeschwindigkeit – die drei Außenleiter zeitlich zueinander versetzt zugeschaltet. Solange nicht alle drei Leiter Spannung führen, fließt dann über die Filterkondensatoren des EMV-Filters der bereits zugeschalteten Leiter ein erhöhter Ableitstrom zur Erde.

Unerwünschte Auslösungen infolge transients Ableitströme kann man vielfach mittels des Einsatzes von RCD mit Ansprechverzögerung vermeiden. Um die Schutzwirkung nicht unzulässig zu beeinträchtigen, darf die Ansprechverzögerung nur in engen Grenzen wirken. Hieraus folgt, dass sich die RCD auch gegen transiente Ableitströme nicht beliebig immunisieren lässt. RCD vom Typ B weisen in der Regel eine erhöhte Ansprechverzögerung auf. Überschrei-

BUCHTIPP ZUM THEMA

Elektromaschinen und Antriebe 2007 de-Jahrbuch

Hrsg. P. Behrends
2006, 400 Seiten,
kartoniert, 19,80 EUR
ISBN 978-3-8101-0240-9
Hüthig & Pflaum Verlag



Seit mehr als drei Jahrzehnten das Basis- und Nachschlagewerk für Praktiker der Maschinen- und Antriebstechnik. Zu bestellen beim Hüthig & Pflaum Verlag, Tel. (0 62 21) 4 89 - 5 55, Fax (0 62 21) 4 89 - 4 10, E-Mail: de-buchservice@de-online.info, www.de-online.info

ten die transienten Ableitströme in ihrer Dauer jedoch die durch die Vorschriften vorgegebene höchstzulässige Abschaltzeit der RCD, so kommt es dennoch bei entsprechender Höhe zu deren Auslösung.

Ableitströme reduzieren

Wie in den Kapiteln zuvor deutlich wurde, geht eine Ertüchtigung der RCD gegen Fehlauflösungen durch Ableitströme in den meisten Fällen zu Lasten der Schutzwirkung. Es ist daher immer zu empfehlen, Ableitströme durch die folgenden Maßnahmen kleinstmöglich zu halten.

Gemäß DIN VDE 0100-530 (Auswahl und Einrichtung elektrischer Betriebsmittel) Absatz 531.3.3 ist die elektrische Anlage so auszulegen, dass der Ableitstrom das 0,4fache des Bemessungsfehlerstromes der RCD nicht überschreitet.

Reduzierung stationärer Ableitströme

- Viele FU-Hersteller bieten mittlerweile auch sogenannte ableitstromarme EMV-Filter an. Bei diesem Filtertyp treten bauartbedingt deutlich niedrigere Ableitströme auf als bei Standardfiltern. Die Herstellerangaben bezüglich einer maximal zulässigen Länge der geschirmten Motorzuleitung sind zu beachten.
- In elektrischen Netzen, in denen der Neutralleiter vorhanden ist, kann ein Vier-Leiter-Filter eingesetzt werden. Dieser Filtertyp weist die geringsten Ableitströme auf. (Der Hauptanteil der Ableitströme wird jetzt über den Neutralleiter abgeführt.)
- Durch weitere Maßnahmen sollte gewährleistet werden, dass die Netzspannung möglichst unverzerrt bleibt.
- Auf gar keinen Fall darf am Ausgang eines dreiphasigen EMV-Filters (ohne Neutralleiteranschluss) ein einphasiger Verbraucher wie z.B. eine Glühlampe gegen den Neutralleiter angeschlossen werden. Durch die unsymmetrische Belastung des Filters werden die Ableitströme weiter erhöht und die Filterwirkung wird stark beeinträchtigt, so dass die zulässigen Grenzen zur Einhaltung der EMV-Vorschriften deutlich überschritten werden.
- Werden mehrere einphasig betriebene FU verwendet, sollten diese zur Kompensation der Ableitströme gleichmäßig auf alle Außenleiter verteilt werden.

Reduzierung variabler Ableitströme

- Die abgeschirmte Motorzuleitung ist möglichst kurz zu halten.
- Sinus-Filter, EMV-Sinus-Filter, du/dt-Filter oder Ausgangsdrosseln direkt hinter dem Ausgang des FU (vor der Motorzuleitung) installieren. Diese verringern durch eine Reduzierung der Flankensteilheit der Ausgangsspannung des FU die Ableitströme oberhalb von 1 kHz auf der Leitung zum Motor erheblich. Besonders niedrige Ableitströme lassen sich mit einem du/dt-Filter erreichen.
- Werden mehrere FU mit eigenem (integrierten) EMV-Filter eingesetzt, kann man durch ein zusätzlich vorgeschaltetes, gemeinsames Vier-Leiter-Filter die variablen Ableitströme erheblich reduzieren.

(Fortsetzung folgt)