

Möglichkeiten zur Unterdrückung impulsartiger Störgrößen

U. Köpf, Universität Stuttgart,
Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik

1 Einleitung

Bei der Erfassung von Teilentladungen treten aufgrund der äußerst empfindlichen Messung und des großräumigen Aufbaus des Hochspannungsteils vielfältige Störungen auf. Die von dem verwendeten Meßgerät dadurch fälschlicherweise angezeigte Ladung bezeichnet man als Grundstörpegel. Dieser begrenzt die Meßempfindlichkeit der Anordnung. Da jedoch die Tendenz zu immer empfindlicheren Messungen zu erkennen ist, muß die Empfindlichkeit der Messung immer weiter gesteigert werden, und es müssen Verfahren erarbeitet werden, die es gestatten, die Störungen zu unterdrücken.

Der folgende Beitrag gibt einen allgemeinen Überblick über die möglichen Störungen und zeigt an den netzsynchronen, impulsartigen Störungen, wie diese unterdrückt werden können.

2 Übertragung der Störungen (Kopplung)

2.1 Magnetische Kopplung

Die magnetische Kopplung wird durch sich zeitlich verändernde Magnetfelder erzeugt, die in der Leiterschleife, die der Hochspannungskreis der Meßanordnung bildet, eine Spannung induzieren. Auch können Masseschleifen und darin induzierte Spannungen und deren Ströme dazu beitragen. Im Bild 1 sind schematisch der Ankopplungsteil und das störende Magnetfeld einer Meßanordnung dargestellt.

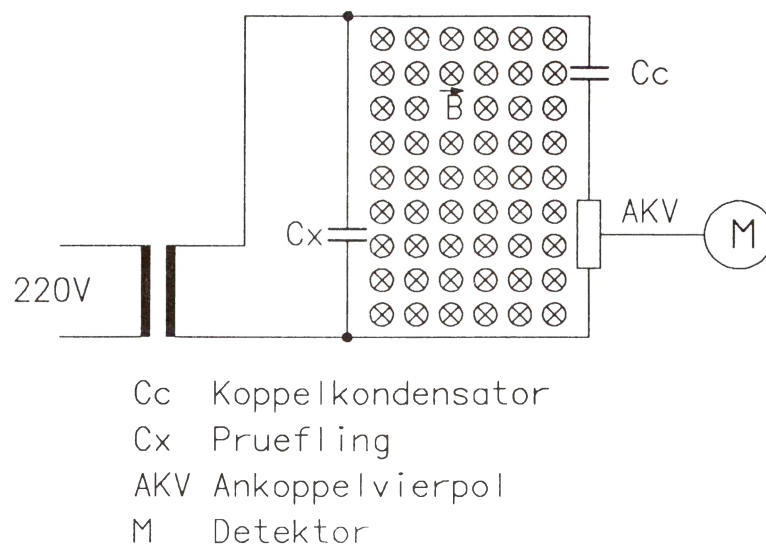


Bild 1: Magnetische Einkopplung von Störungen

2.2 Elektrische Kopplung

Die elektrische Einkopplung von Störungen geschieht über elektrische Felder, die in der Meßanordnung eine Spannung influenzieren. Hierbei kann der Hochspannungsaufbau als Dipolantenne gesehen werden.

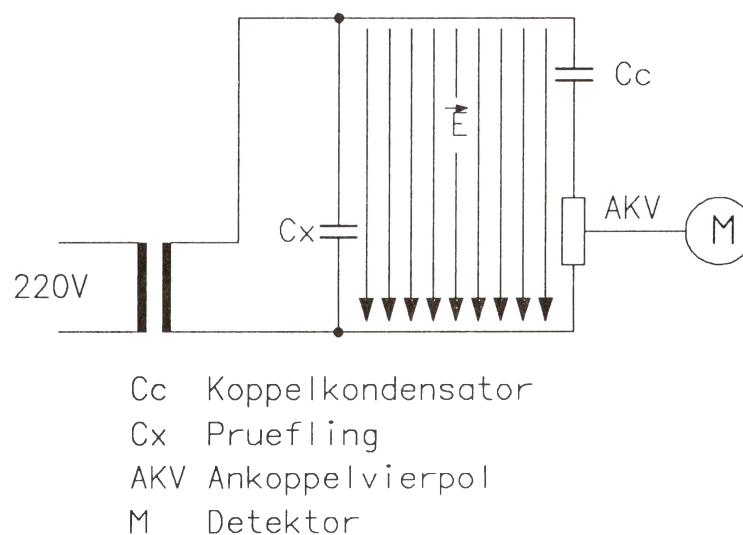


Bild 2: Elektrische Einkopplung von Störungen im Meßkreis

2.3 Elektromagnetische Kopplung

Diese Art der Kopplung wird durch elektromagnetische Wellen verursacht.

2.4 Leitungsgebundene Kopplung

Die hierbei auftretenden Störungen laufen als Spannungsimpulse auf den benutzten Leitungen in den Detektor und verfälschen so das Meßergebnis. Als wichtigste Wege sind hier die Netzanschlußleitungen des Detektors und die des Anschlusses zum Hochspannungskreis (AKV) zu nennen.

3 Einteilung der Störungen

Die bei praktischen Messungen auftretenden Störungen können nach ihrem Erscheinungsbild eingeteilt werden (Bild 3):

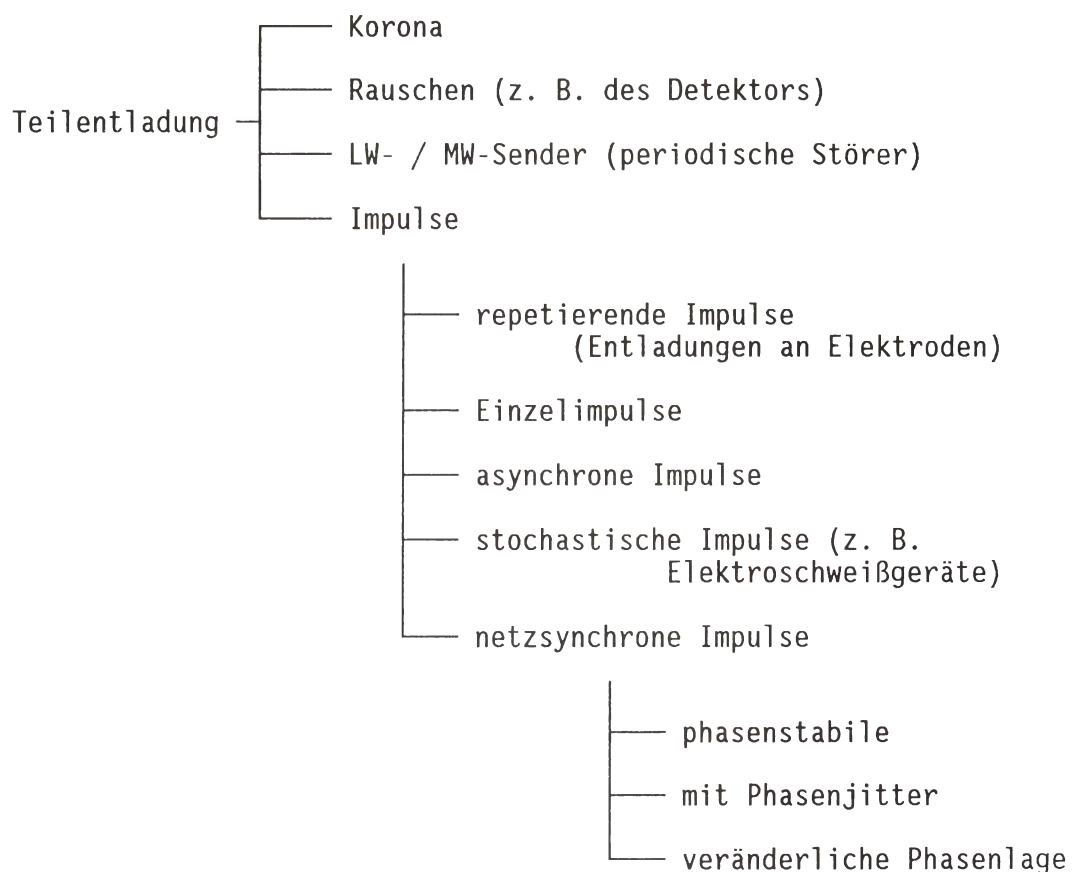


Bild 3: Einteilung von Störern bei der Teilentladungsmessung

Der Hauptanteil der Störer besteht im allgemeinen aus den periodischen Störern und den Impulsen. Die ersten können durch analoge - oder wesentlich effizienter - durch adaptive, digitale Filter unterdrückt werden [1]. Bei den impulsartigen Störern ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da das Spektrum eines Störers und das eines TE-Impulses einander recht ähnlich sind. Deswegen müssen Wege gefunden werden, die es gestatten, die Impulse im Zeitbereich zu erkennen und zu unterdrücken.

4 Störquellen der Impulsstörer

Abhängig von ihrer Erzeugung lassen sich die impulsartigen Störer im wesentlichen in zwei Klassen einteilen. Die zur Netzfrequenz synchronen und die dazu asynchronen Störer (siehe Tabelle 1).

Ursache der Störung	Beziehung zur Netzfrequenz
Leuchtstoffröhren	synchron
Elektrische Maschinen (z. B. Bürstenfeuer)	asynchron
Phasenanschnittsteller	synchron
Leistungselektronik:	
Wechselrichter	meist asynchron
Gleichrichter	synchron
Frequenzumrichter	asynchron
Schalter (Kran, Kühlschrank u. s. w.)	impulsartig
Impulsentladungen am Hochspannungsaufbau	synchron, asynchron

Tabelle 1: Die wichtigsten Impulsstörer

Die meisten in der Praxis auftretenden Störer werden von der Netzwechselspannung selbst verursacht und sind damit netzsynchron. Das heißt, die Impulse (Leuchtstoffröhren, Phasenanschnittsteller u. s. w.) treten von Netzperiode zu Netzperiode immer mit der gleichen Phasenlage auf oder zeigen bezüglich zur Netzspannung nur einen geringen

Jitter. Damit steht ein mächtiges Kriterium zur Verfügung, um diese zu erkennen und zu unterdrücken.

5 Netzsynchrone Störer

Im folgenden soll speziell auf die netzsynchronen Störer eingegangen werden, da sie, wie oben ausgeführt, den Hauptanteil der impulsartigen Störungen darstellen.

Um den Einfluß dieser Störer auf die Messung der Teilentladung zu verringern, müssen die Störungen zuerst erkannt und anschließend unterdrückt werden.

5.1 Störunterdrückung außerhalb des Detektors

Eine konventionelle Methode zur Senkung des Grundpegels ist die **Schirmung** des Meßraumes. Dies ist im allgemeinen recht aufwendig, da Hochspannungsprüffelder von Natur aus groß sind und der Material- und Arbeitsaufwand zur Umschließung des ganzen Raumes mit Schirmmaterial deswegen ebenfalls groß ist. Diese Methode ist in Prüffeldern in der Fertigung noch wirtschaftlich, da die Prüfeinrichtung immer am gleichen Ort bleibt. Bei der Vor-Ort-Messung muß die Abschirmung jeweils vor der Messung auf- und nach der Messung wieder abgebaut werden, was die Kosten erheblich erhöht.

Eine Alternative zur Schirmung bietet die **Brückenmethode** (Bild 4). Bei dieser Anordnung erzeugen Signale, die die beiden Brückenarme im gleichen Sinn durchlaufen, in den beiden Ankoppelvierpolen Spannungen gleicher Polarität. Durch Differenzbildung dieser beiden Signale werden die Störungen sehr wirkungsvoll unterdrückt. Dies ist speziell bei Impulsen, die leitungsgebunden über die Hochspannungsversorgung eingekoppelt werden, der Fall. Der durch die Teilentladung in einem der Prüflinge hervorgerufene Strom fließt jedoch in der Masche, bestehend aus den beiden Prüflingen und den beiden Ankoppelvierpolen, im Kreis und erzeugt so zwei Impulse mit unterschiedlichem Vorzeichen, die sich bei der Differenzbildung verstärken.

Bei der symmetrischen Brücke sind immer zwei identische Prüflinge erforderlich, und es ergibt sich durch die Symmetrie eine sehr gute Störunterdrückung (bis 1:1000). Der Nachteil ist jedoch, daß nicht immer zwei Prüflinge zur Verfügung stehen und daß die gemessene TE nicht ohne weiteres einem der beiden Prüfobjekte zugeordnet werden kann.

Bei der nichtsymmetrischen Brücke besteht ein Zweig aus einem TE-freien Referenzobjekt, und es wird versucht, durch Abgleich der Frequenzgänge beider Brückenarme für beide Kanäle möglichst den gleichen Frequenzgang zu erzeugen. Erst dadurch können die Gleichtaktstörungen wirkungsvoll unterdrückt werden.

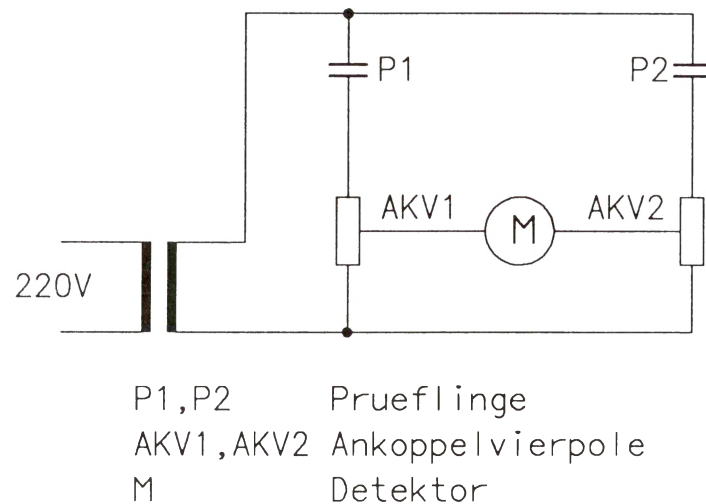


Bild 4: Prinzip der Brückenmessung zur Unterdrückung von Störungen

5.2 Störunterdrückung im Detektor

Wegen des großen Aufwands der Maßnahmen außerhalb des Detektors und der damit verbundenen hohen Kosten (z. B. Schirmung des Labors) wurden zahlreichen Methoden erdacht, die Störungen im Detektor durch Signalverarbeitung zu unterdrücken.

Mit einem sogenannten **Impuls-Diskriminator** wird bei breitbandigen Systemen die Polarität eines Impulses ausgewertet. Teilentladungen innerhalb des Prüflings führen grundsätzlich zu einem Ladungsverlust desselben und damit zu einem Nachladen des Prüflings über den Ankoppelvierpol. Der dadurch verursachte Spannungsimpuls am AKV hat immer das umgekehrte Vorzeichen wie die gerade anliegende Hochspannung. Hat ein Impuls das gleiche Vorzeichen wie die am Prüfling angelegte Spannung, so wird er vom Diskriminator erkannt und ausgeblendet. Dieses Verfahren funktioniert jedoch nur bei breitbandigen Systemen, da bei Schmalband-Meßgeräten die Information über die Polarität des Impulses verlorengeht.

Eine weitere Möglichkeit der Störunterdrückung besteht in der **Fenster-Methode**. Hierbei werden durch den Prüfer Fenster innerhalb einer Netzperiode definiert, in denen die Teilentladung gemessen werden soll. Außerhalb der Fenster werden alle Impulse

unterdrückt und nicht ausgewertet. Es stehen jedoch in einem Meßgerät meist nur ein oder zwei solcher Fenster zur Verfügung, was einen geringen Grad an Flexibilität bedeutet. Diese Methode kann auch leicht falsche Meßergebnisse erzeugen, da so auch fälschlicherweise TE-Signale unterdrückt werden können.

Die **schmalbandige Messung** kann zur Unterdrückung von sinusförmigen Störern benutzt werden. Dabei wird nur innerhalb eines schmalen Frequenzbandes (ca. 10 kHz Bandbreite) gemessen. Dabei wird die Mittenfrequenz so gewählt, daß möglichst wenig Störungen auftreten.

Bei der **extremen Breitbandmessung** versucht man durch Erhöhen der Bandbreite (bis zu mehreren 100 MHz [2]) möglichst viel Signalenergie des TE-Impulses auszuwerten, so daß der Einfluß der Störungen, die im allgemeinen ein begrenztes Spektrum haben, verringert wird.

Es wäre auch denkbar, eine **Hochspannungsbrücke nachzubilden**. Hierbei wird ein Brückenweig durch den Prüfling und den Ankoppelvierpol gebildet. Der andere Brückenweig besteht aus dem sowieso vorhandenen Hochspannungsteiler. Die unterschiedlichen Frequenzgänge der beiden Zweige müssen dann natürlich durch ein Filter einander angeglichen werden, damit sich eine gute Störunterdrückung ergibt. Hierbei bieten die digitalen Filter große Vorteile, denn sie sind leicht rekonfigurierbar und damit auf geänderte Verhältnisse anpaßbar.

6 Neue Methoden zur Störunterdrückung

Um Störungen unterdrücken zu können, müssen sie zuerst erkannt werden. Neu zu entwickelnde Methoden hierfür sind im folgenden dargestellt.

6.1 Erkennung der netzsynchronen Störer

Die einfachste Möglichkeit, die netzsynchronen Störer zu unterdrücken, ist eine Nullmessung. Hierbei wird beim vollständigen Meßaufbau, aber ohne Hochspannung, eine Messung gemacht. Die hierbei auftretenden Impulse können keine TE-Signale, also nur Störungen sein. Der Nachteil hierbei ist, daß mit diesem Verfahren nur zeitlich konstante Störungen erkannt werden können. Störungen, deren Phasenlage sich gelegentlich ändert (Dimmer), oder Störungen, deren Phasenlage sich kontinuierlich ändert (Regelung an Maschinen mit Phasenanschnittsteller), können so nicht detektiert werden.

Eine vielversprechende Möglichkeit, auch die Störungen mit variabler Phasenlage zu erfassen, bietet ein Verfahren, das während der Messung mit Hochspannung für jeden einzelnen Impuls entscheidet, ob dieser von einer Teilentladung oder von einer Störung herrührt. Um diese Entscheidung treffen zu können, werden mehrere aufeinanderfolgende Netzperioden miteinander verglichen. Dadurch ist es möglich, die Impulse mit den jeweils in der Vergangenheit liegenden Netzperioden zu vergleichen. Traten zur entsprechenden Phase in den Perioden zuvor ebenfalls Impulse mit einer ähnlichen Amplitude auf, so handelt es sich wahrscheinlich um einen netzsynchronen Störer, und er sollte unterdrückt werden. Die Wirksamkeit eines solchen Verfahrens muß noch eingehend untersucht werden, da mit Sicherheit ausgeschlossen werden können muß, daß ein TE-Impuls irrtümlicherweise als Störung erkannt und unterdrückt wird. Die Unterdrückung hätte sonst zur Folge, daß ein zu kleiner Wert der Teilentladung am Meßgerät angezeigt wird.

Eine konsequente Fortsetzung der Methode des Vergleichs mehrerer Netzperioden bedeutet mathematisch gesehen die Korrelationen der Netzperioden untereinander. Es ist in Zukunft noch zu prüfen, welche Verfahren mit der Korrelation zu realisieren sind, wie groß der Aufwand in einem Meßgerät ist und welche Störunterdrückung damit zu erreichen ist.

6.2 Unterdrückung der netzsynchronen Störer

Wenn ein Impuls als Störer erkannt wurde, muß dieser unterdrückt werden, ohne die restlichen Impulse zu beeinflussen.

Eine Methode hierfür ist die **Ausblendung** mit einer Fensterfunktion. Hat das Meßgerät einen Störer erkannt, so wird das Meßsignal für eine bestimmte Zeitdauer (typisch 30 µs) ausgeblendet. Bei der automatischen Unterdrückung von Störungen, wie sie in Zukunft untersucht werden soll, können nun mehrere solcher Ausblend-Fenster auf einer Netzperiode verteilt werden, was die Flexibilität gegenüber älteren Meßgeräten mit einem oder zwei Fenstern deutlich erhöht.

Kombiniert man die Ausblend-Methode mit einer (digitalen) Filterung im Frequenzbereich, so muß die Ausblendung von Störimpulsen entweder vor oder nach dem Frequenz-Filter erfolgen. Ist die Ausblendeschaltung vor dem Filter angeordnet, so entstehen durch die Ausblendung neue Frequenzanteile, die die anschließende Filterung beeinflussen. Folgt die Impulsunterdrückung dem Frequenz-Filter, dann ist der zu unterdrückende Impuls durch das Filter im Zeitbereich verlängert worden, und die notwendige Zeit für die Ausblendung und damit der Informationsverlust steigt an. Dieser

Effekt tritt umso stärker auf, je steilflankiger die Filterung im Frequenzbereich erfolgt. Um Signale von Rundfunksendern extrem schmalbandig ausblenden zu können, wird man das Filter digital und damit sehr steilflankig realisieren, was zu einer starken Verlängerung des Impulses im Zeitbereich führt. Der Einfluß dieser beiden Erscheinungen soll in Zukunft weiter untersucht werden, um beide Verfahren gegeneinander abwägen zu können.

Eine weitere Möglichkeit der Störunterdrückung ist bei netzsynchronen Störern im einfachsten Fall die **Differenzbildung** mit der vorangegangenen Netzperiode. Wird die Differenzbildung nur während eines Zeitraumes, zu dem eine Störung erkannt wurde, vorgenommen, so ist noch ungeklärt, wie der Übergang zwischen den beiden Zeiträumen zu realisieren ist. Ebenfalls denkbar wäre eine dauernde Differenzbildung. Der Einfluß dieser Methode auf die gemessene scheinbare Ladung ist jedoch noch zu untersuchen.

7 Entwickelte Aufzeichnungsanlage

Zur Aufzeichnung von Teilentladungssignalen (mit Störungen) wurde eine digitale Aufzeichnungsanlage aufgebaut, die es ermöglicht, das TE-Signal und einen Sonderkanal mit einer Abtastrate von 1 MHz über eine Dauer von ca. 20 Netzperioden (ca. 400 ms) aufzuzeichnen (siehe Bild 5).

Die gesamte Aufzeichnungseinrichtung besteht aus einem IBM-PC/AT und einem 19 Zoll Tischgehäuse. Zum Schutz gegen Störungen und Überspannungen sind beide vollständig durch Optokoppler voneinander getrennt.

Im Tischgehäuse erfolgen die Vorverstärkung und die Analog-Digital-Umsetzung. Das Gerät verfügt über zwei Kanäle. Ein Kanal zeichnet das TE-Signal mit einer Auflösung von 12 bit auf. Der andere Kanal setzt ein weiteres Eingangssignal mit 8 bit um. Weil der Rechner nur über eine Datenbusbreite von 16 bit verfügt, werden die 8 bit vom AD-Umsetzer auf 4 bit umkodiert. Mit diesem Kanal können entweder die gestrahlten Störungen über eine externe Antenne oder die Netzstörer über einen Adapter in der Netzleitung aufgezeichnet werden.

Die Synchronisierung erfolgt über einen dritten Eingang, damit die Aufzeichnung in Phase zur Netzspannung erfolgt.

Der Rechner steuert die komplette Meßdatenerfassung in dem Tischgehäuse und erhält von diesem die digitalisierten Daten. Diese werden per DMA (direct memory access - direkter Speicherzugriff) in den Arbeitsspeicher des Rechners geschrieben. Nach dem

Aufzeichnungsvorgang werden die Meßwerte dann in eine Datei auf der Festplatte geschrieben.

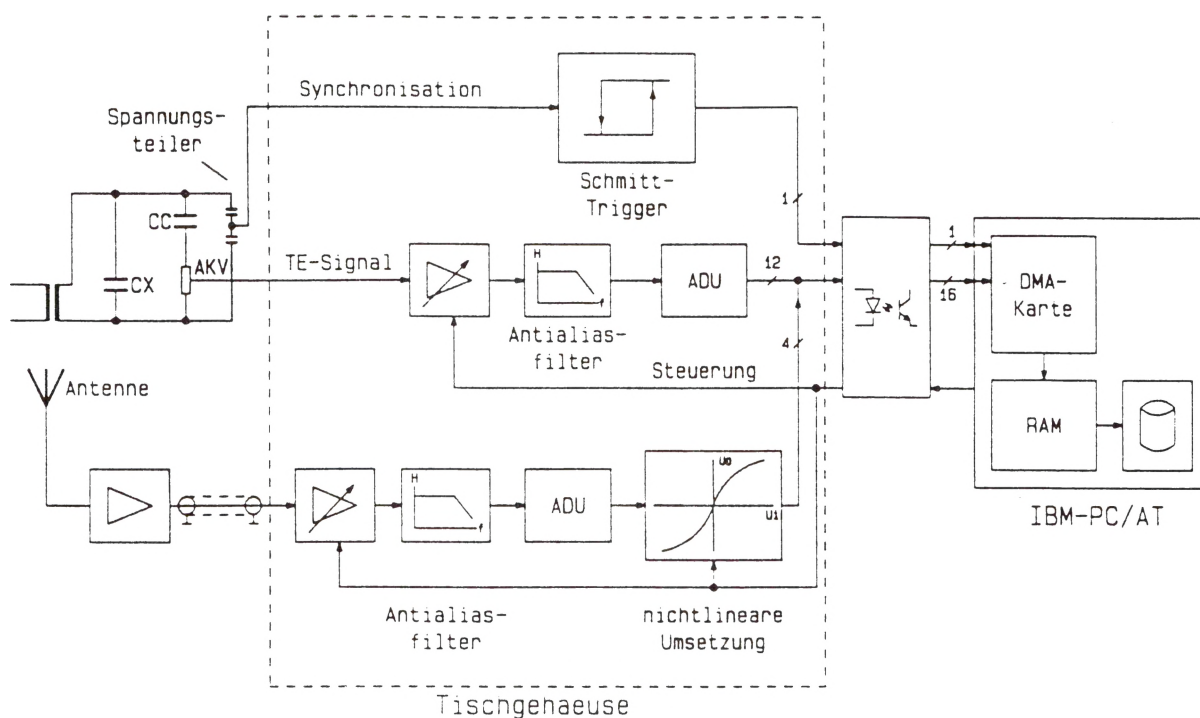


Bild 5: Die Anlage zur digitalen Aufzeichnung mehrerer aufeinanderfolgender Netzperioden

Mit den gemessenen Signalen sollen neue Verfahren zur Störimpulserkennung und deren Unterdrückung simuliert und erprobt werden. Gedacht ist hierbei speziell an die Fensterbildung durch eine Nullmessung und an die automatische Erkennung von Störungen durch Korrelation der Signale mit zurückliegenden Netzperioden.

8 Zusammenfassung

Aufgrund der äußerst kleinen Signalspannungen bei der Teilentladungsmessung beschränken vielfältige Störungen die Meßempfindlichkeit. In diesem Beitrag sind die verschiedenen Arten der Störungen mit ihren Ursachen zusammengestellt. Ebenso wird auf die Wege der Übertragung (Kopplung) eingegangen. Zur Unterdrückung der Störungen und damit zur Steigerung der Empfindlichkeit der Messung sind einige konventionelle Verfahren beschrieben. Daneben werden auch neue Ansätze,

insbesondere digitaler Art, vorgestellt, die es in Zukunft ermöglichen können, die Teilentladungsmessung mit einer drastisch erhöhten Empfindlichkeit durchzuführen.

9 Literatur

- [1] G. König: Unterdrückung sinusförmiger Störer mit einem adaptiven Filterverfahren, HTS-Symposium 1990

- [2] E. Lemke: Applikation der TE-Sonden-Meßtechnik im Rahmen der Vor-Ort-Diagnose von Hochspannungsausrüstung, VDE-ETG-Fachseminar Teilentladung (TE) in Betriebsmitteln der Energietechnik, technische Akademie Esslingen 1988