



Thema: Simulations- und Trainingsmodell zur Bildung einer Erdstrom- Differentialschaltung
Subject: im 90%igen Ständererdschluss- Schutz an Drehstrommaschinen

Datum: 04.08.2025
Date:

1. Allgemeines

Drehstrommaschinen im Allgemeinen und Synchronmaschinen im Besonderen werden zur Überwachung ihrer Wicklungsbaugruppen mit unterschiedlichsten Schutzsystemen ausgerüstet, um das speisende Drehstromnetz bei Eintritt eines Isolationsfehlers im Wicklungssystem der Maschine zu schützen.

Tritt dieser Fall ein, so ist die vektorielle Summe der drei Leiter- Erdspannung des speisenden Netzes nicht mehr Null, sondern es tritt eine so genannte Verschiebespannung $U_0>$ auf, die zum einen aus den Leiter- Erdspannungen berechnet, oder physikalisch als Verschiebespannung $U_0>$ zwischen dem Wicklungs- Sternpunkt dem Erdpotential gemessen werden kann. Überschreitet diese Verschiebespannung $U_0>$ einen vorgegebenen Schwellwert, so spricht die vorhanden Ständer- Erdschluss- Schutzfunktion an und trennt die entsprechende Drehstrommaschine sicher und unverzüglich vom Netz.

Werden aber mehrere Drehstrommaschinen an einer gemeinsamen Sammelschiene betrieben, so detektieren im Erdschlussfall jede der einzelnen SES- Schutzfunktionen die an der Sammelschiene aufgetretene Verschiebespannung $U_0>$, so dass jede SES- Funktion ihre zugeordnete Maschine vom Netz trennt, auch wenn diese selbst nicht erdschlussbehaftet ist.

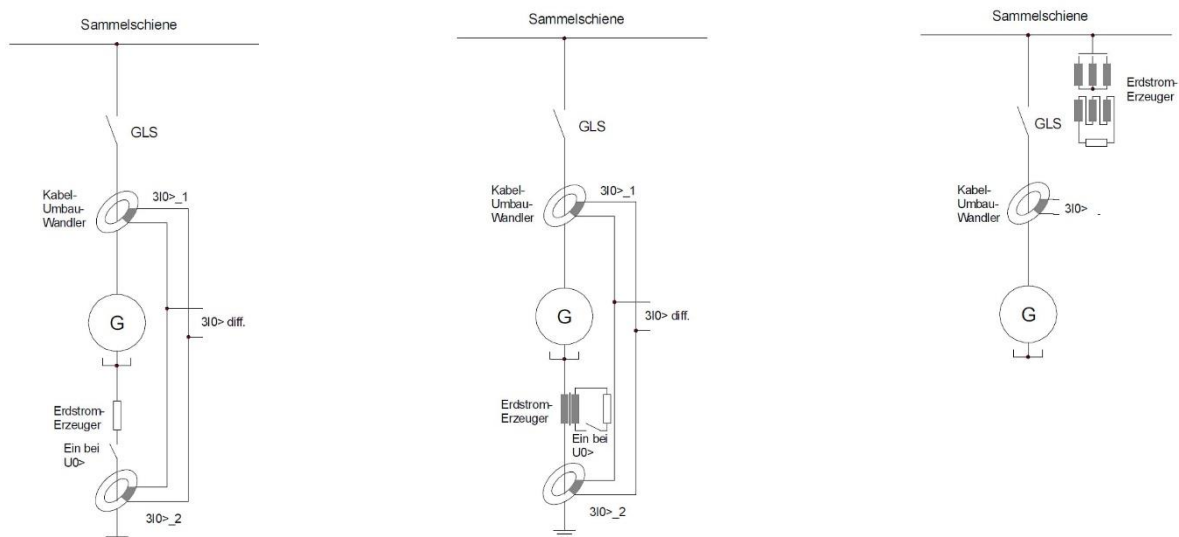
Um dies zu verhindern und nur den Anlagenteil vom Netz zu trennen, der auch tatsächlich erdschlussbehaftet ist, wird durch hinzufügen einer zweiten Variablen $3I_0>$ zur Verschiebespannung $U_0>$, der Erdschluss- Schutz um eine selektive Komponente erweitert.

In diesem Fall spricht der SES- Schutz nur an, wenn zum einen eine Verschiebespannung $U_0>$ und ein Erdstrom $3I_0>$ vorhanden sind und beide Variablen die parametrisierten Schwellwerte überschreiten.

Zur Generierung dieser $3I_0>$ Komponente ist immer ein so genannter Erdstrom- Erzeuger erforderlich, der sowohl im Maschinensternpunkt oder auch im Sammelschienensystem angeordnet sein kann.

In beiden Fällen generiert dieser auf transformatorische Weise oder über einen Strombegrenzungswiderstand aus der Verschiebespannung $U_0>$ die Erdstrom- Komponente $3I_0>$, die in den drei Phasen der Ständerwicklung als Primärkomponenten gemessen werden können. Entsprechende Beispiele, Wirkprinzipien und Besonderheiten der Dimensionierung sind in den Handbüchern der Maschinenschutzgeräte 7UM62xx und 7UM85, sowie in meiner Themenschrift 19 angegeben.

Die nachfolgenden Skizzen zeigen gegenüberstellend nochmals die drei Möglichkeiten zur Erdstromerzeugung an elektrischen Maschinen im Sammelschienenbetrieb.



Die im Erdschlussfall über eine Fehlerstelle fließenden Primärströme werden üblicherweise mittels Kabel- Umbauwandler, die in der Regel ein Übersetzungsverhältnis von 60 A / 1 A und eine Kernleistung von 1,2 bis 2,5 VA aufweisen, auf die Sekundärseite transformiert.

Befindet sich nun der Erdstromerzeuger im Sternpunktkreis der elektrischen Maschine und die angenommene Erdschluss-Stelle im Sammelschienen- oder Anlagenbereich, so fließt der vom Erdstromerzeuger generierte Erdstrom bei eingeschalteten GLS durch die Wicklung der elektrischen Maschine und beide Kabel- Umbauwandler.

Da beide Umbauwandler das gleiche Übersetzungsverhältnis aufweisen müssen und Stromwandler generell im so genannten „Stromzwang“ arbeiten, findet an der Verbindungsstelle der beiden Sekundärwicklungen eine vektorielle Differenzbildung der 310>- Komponenten statt.

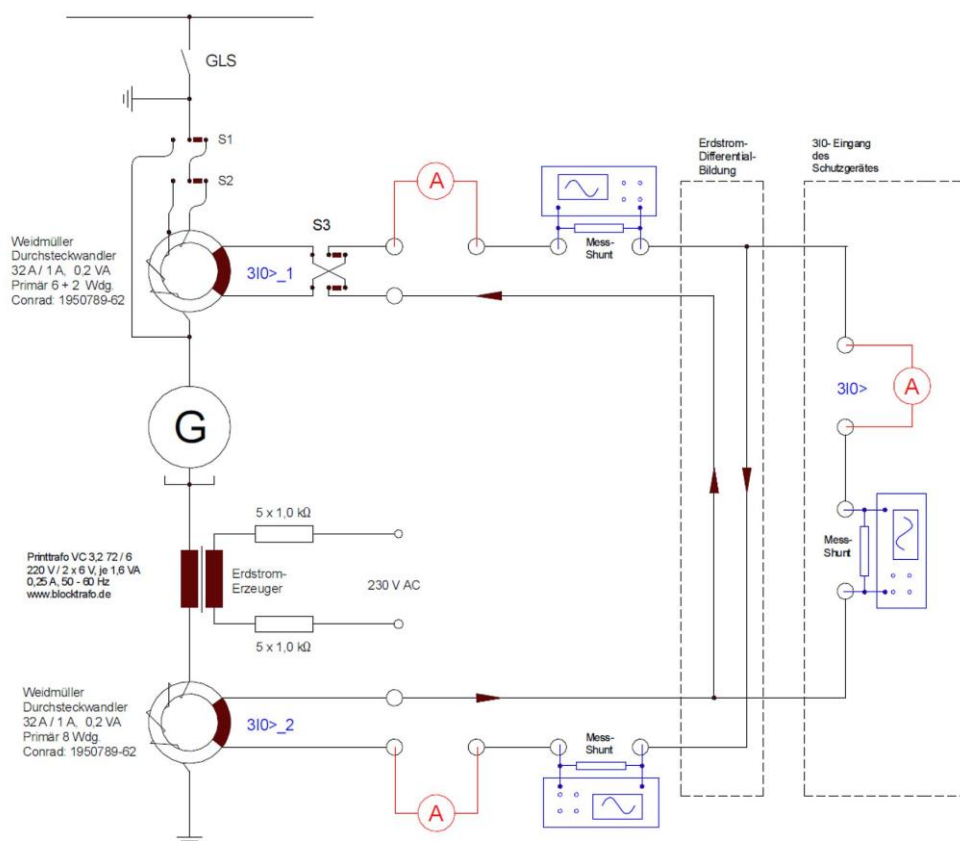
Sind die sekundären Erdströme $3I0>_1$ und $3I0>_2$ betrags-, frequenz- und phasengleich, so ist das Ergebnis der Differenzierung Null, d.h. am Schutzgerät würde bei einem Erdschluss „außerhalb“ nur die Komponente $U0>$, aber nicht die Komponente $3I0>$ anliegen, so dass ein Ansprechen der 90%igen SES- Funktion nicht erfolgen würde.

Befindet sich jedoch die Erdschluss- Stelle im Inneren der elektrischen Maschine, würde der Erstromerzeuger auch in diesem Fall einen primären Erdstrom generieren, aber dieser würde nur durch den sternpunktseitigen Umbauwandler fließen. Der ausleitungsseitige Umbauwandler befindet sich dabei außerhalb des Erdstromkreises.

Dadurch generiert auch nur der sternpunktseitige Umbauwandler einen entsprechenden Sekundärstrom, der jedoch wegen der hohen Sekundär- Impedanz des ausleitungsseitigen Umbauwandlers, nur in des Stromeingang des Schutzgerätes fließen kann. Damit erkennt das Schutzgerät beide Auslösekriterien $U_0 >$ und $I_0 >$, so dass in diesem Fall eine Erdschluss- Auslösung erfolgt.

An den vorstehenden beiden Beispielen sollte die funktionelle Wirkung der so genannten Selektivität verstanden sein, d.h. der 90%ige SES soll nur ansprechen, wenn ein Erdschluss „innerhalb“ detektiert wird. Bei einem Erdschluss „außerhalb“ soll die Maschine nicht vom Netz getrennt werden, um die Erdschluss- Stelle für die Fehlersuche weiter zu speisen.

Um die vorstehenden elektrischen Vorgänge nicht unbedingt an einer in Betrieb befindlichen Maschine zu testen bzw. sich in die SES- Funktionalität einarbeiten zu müssen, wurde vom Ingenieurbüro John ein Trainingsmodell entwickelt, an dem die häufigsten, bei den SES- Inbetriebnahmen auftretenden Fehler simuliert werden können.



Die vorstehende Schaltung zeigt eine so genannte Erstrom- Differentialschaltung, wie sie am häufigsten bei Energieerzeugern, die gemeinsam eine Sammelschiene speisen, zur Anwendung kommt.

Der sternpunktseitige sowie auch der ausleitungsseitige sekundäre Erstrom werden real mit so genannten Umbauwandlern generiert, um den physikalischen Stromzwang bei Stromwandlern und die Erstrom- Differential- Bildung wirklichkeitsnah zu simulieren.

Weiterhin kann mit dem Schalter S2 ein Abdriften der Umbauwandler- Übersetzung simuliert werden, die bei ungünstigen Verhältnissen zwischen den durchgeführten Leiterdurchmessern und dem Innendurchmesser des Umbauwandlers eintreten. Auf Grund der dabei auftretenden größeren Streuung zwischen der Primärwicklung und dem Wandler- Kern, reduziert sich das Übersetzungsverhältnis des Wandlers dramatisch, was eine Verringerung des selektiven SES- Schutzbereiches zur Folge hat.

Mit dem Schalter S3 kann ein Polaritätsfehler beim Zusammenschalten der beiden Sekundärwicklungen simuliert und in Abhängigkeit davon der Einfluss auf die Erstrom- Differential- Bildung beobachtet werden.

Mit dem Schalter S1 kann zwischen einem Erdschluss „innerhalb“ und einem Erdschluss „außerhalb“ umgeschaltet und dabei das Ergebnis der Erstrom- Differential- Bildung beobachtet werden.

Darüber hinaus befinden sich in der Schaltungsdarstellung sowie im nachfolgend dargestellten Fertiggerät außer den Anschlusspunkten für die drei Strommesser noch weitere drei Anschlusspunkte, um mittels eines mehrkanaligen Oszillografen auch die Momentan- Werte, bzw. deren Verläufe in der Zeitebene beobachten zu können.

Das nachfolgende Bild zeigt das aufgebaute Fertiggerät.

