

Versuch EE1: Schutzrelais

12/2022

Prof. Dr.-Ing. Ralf-Dieter Rogler
Dipl.-Ing. K. Schellenberger

1. Versuchsziel

- Kennenlernen der grundlegenden Eigenschaften einiger Schutzrelais
- Überprüfung der Auslösewerte, der Abschaltzeiten und der Rückfallverhältnisse
- Aufnahme und Vergleich verschiedener Relaiskennlinien
- Verdeutlichung der Eignung der verschiedenen Relaisarten und Einstellmöglichkeiten für unterschiedliche Objekte und Schutzzwecke im Elektroenergiesystem

2. Voraussetzungen

Für die Durchführung des Versuches werden folgende Kenntnisse vorausgesetzt:

- Aufbau von Elektroenergiesystemen sowie deren Verhalten bei Störungen
- Schutzziele und Schutzkriterien in Elektroenergiesystemen
- Bestimmung von Kennwerten wie Kurzschlussstrom und Impedanz von Systemen
- Einsatz von Messtechnik und deren Schaltungen in Energiesystemen
- Aufbau und Wirkungsweise von Messgeräten, Schutzrelais und Leistungsschaltern

3. Vorbereitungsaufgaben

Hinweis: Jeder Student sollte bitte seine Lösung der Aufgaben 1-6 spätestens 2 Tage vor Versuchsbeginn dem betreuenden Laboringenieur übermitteln (über das OPAL, notfalls per Mail).

1. Nennen und erklären Sie kurz Forderungen, die allgemein an Schutzsysteme gestellt werden!
2. Welche Schutzkriterien gibt es, bei welchen ist eine Messung des Stromes notwendig?
3. Welche Kennwerte sind für die Auswahl eines passenden UMZ-Relais wichtig?
4. Wie ist das Rückfallverhältnis eines Relais definiert, wie kann es berechnet werden? Wovon ist es abhängig, und welche Werte sind üblich?
5. Skizzieren Sie die zeitlichen Zusammenhänge zwischen Fehlerzeitpunkt, Abschaltzeitpunkt, Ansprechzeit, Reaktionszeit, Auslesezeitpunkt und Verzögerungszeit bei Schutzrelais.
6. Skizzieren und erklären Sie die Kennlinien eines Sicherungsautomaten, einer Schmelzsicherung, eines AMZ-Relais und eines zweistufigen UMZ-Relais. Nennen Sie jeweils Vor- und Nachteile.
7. Bereiten Sie (z.B. auf einem Tablet) pro Gruppe eine Tabelle vor zu Aufgabe 4.1.1., 4.1.2, 4.1.3 (**tg**) und 4.2.2 (**tg** und **tb**) mit grafischer Darstellung der Auslösezeit als Funktion des Vielfachen vom eingestellten Auslösestrom bzw. der Zeit. Bringen Sie das Tablet zum Versuch mit.
8. Erklären Sie das Funktionsprinzip ein Impedanz-Messrelais nach dem Prinzip der „elektrischen Waage“, dessen Ansprechennlinie in der komplexen Ebene und die Ansprechbedingungen!

4. Versuchsaufgaben

4.1 Einphasiges unabhängiges Überstromzeitrelais

- Erforderliche Geräte: Stelltransformator (Trenntransformator, einphasig)
Leistungsschalter-Modul (**745 561**),
ohmsche Last (dreiphasig), die 3 Phasen parallel geschaltet
unabhängiges Überstromzeitrelais IKT 941 (**745 291**), $I_N = 1\text{ A}$
Digitalmultimeter (METRAHIT, 18 S), akustischer Signalgeber
- Aufbau des einphasigen Versuchsstromkreises (linker Messplatz):
 - Kontrollieren Sie zuerst die Verbindung aller Schutzerden (PE) mit dem PE der 3~ Anschlusseinheit, sowie die des N-Leiters zwischen Spannungsquelle und ohmscher Last.
 - Kontrollieren Sie die Verbindungen von der Spannungsquelle über den Leistungsschalter (L1) zur Last. Die drei Stränge der Last sind parallelgeschaltet.
 - Fügen Sie das Überstromzeitrelais und ein Multimeter (als Strommessgerät) in den Strompfad (L1) ein. Nutzen Sie am Multimeter den Messbereich „10 A“, sowie „~“.
 - Das Überstrom-Relais benötigt eine externe Spannungsversorgung (230 V AC).
 - Schließen Sie den Durchgangsprüfer an den Relaisausgang [**I>I_N**] (Schließer) an.

4.1.1 Überprüfung der Ansprechwerte I_{an} des UMZ („Unabhängiges Maximalstrom Zeitrelais“)

- Vorzunehmende Einstellungen vor Messbeginn:
 - Ohmsche Last: Einstellung auf Skalenwert **R = 100 %**
 - Am Relais: Ansprechwert (**$I > 0,1 I_N$**) auf **0,6**, d.h. 0,6 A, die Zeitverzögerung **t** auf **0,0 s**.
 - Am Stelltrafo beginnen mit **0,0 V** (Regler Linksanschlag).
- Versuchsablauf:
 - Kontrolle der Schaltung durch den Betreuer. Einschalten der Spannungsversorgungen.
 - Leistungsschalter mittels Taster auf „on“ schalten (rote LED leuchtet)
 - Erhöhung der Spannung am Stelltransformator zur Erhöhung des Stromflusses bis das Relais anspricht (ggf. zusätzlich den Lastwiderstand vermindern), Wert I_{an} ablesen.
 - Danach ist die Spannung langsam wieder zu senken bis das Relais abfällt, $I_{r\ddot{u}}$ ablesen
 - Beide Werte in das Diagramm eintragen über $I > I_N$, das berechnete f_R ebenfalls.
 - Weitere Einstellungen nach Tabelle 1.

$I > / I_N$	0,6	1,0	1,4	1,8
I_{an} [A]				
$I_{r\ddot{u}}$ [A]				
f_R				

Tabelle1: Ansprech- und Rückfallwerte

Vermindern Sie die Spannung auf 0,0 V, schalten Sie den Leistungsschalter aus.

- Auswertung: Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den am Relais eingestellten Werten. Bewerten Sie die erreichte Genauigkeit.
- Berechnen Sie das Rückfallverhältnis f_R . Ist dieses von der Stromhöhe abhängig? Wozu benötigt man die Kenntnis von f_R ?

4.1.2 Überprüfung der am UMZ-Relais einstellbaren Zeitverzögerung

Hinweis: Zur Kontrolle der Auslösezeit des UMZ-Relais soll statt des akustischen Signalgebers der Leistungsschalter genutzt werden, der nach Auslösen des Relais den Laststromkreis unterbricht und zugleich eine hochgenaue Stoppuhr anhält.

- zusätzliche Geräte: elektronische Stoppuhr
- Ergänzung des Versuchsaufbaus:
 - Stoppuhr (START/STOP) polaritätsrichtig an Leistungsschalter (SIGNAL OUTPUT)
 - Stromversorgung der Uhr über Netzteil (in Verteilerdose)
 - Verbindung Leistungsschalter (RELAY) mit Relaisausgang (Öffner) des UMZ-Relais,
 - Zu Beginn zum Einstellen mit Laborkabeln überbrückt
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - ohmsche Last: Widerstandswert auf **R = 10 %**
 - Auslösewerte UMZ: ($I > x \cdot 0,1 I_N$) auf **2,0 A**, Verzögerungszeit **t_e** testen mit **0,2 s**.
 - Stelltrafo: beginnen bei **0,0 V** (Regler Linksanschlag)
- Versuchsablauf:
 - Nach Kontrolle des Versuchsaufbaus durch den Betreuer: Spannungen einschalten.
 - Spannung erhöhen bis zur Stromhöhe von **> 2 A**, damit UMZ-Relais sicher anspricht
 - Dann Überbrückung entfernen. Stelltrafo nicht mehr verändern!
 - Uhr-Anzeige zurücksetzen (Taste „RESET“), UMZ-Relais zurücksetzen
 - Einschalten des Leistungsschalter-Moduls („ON“). Uhr läuft los, eingestellter „Fehler“-Strom fließt. UMZ spricht an (gelbe LED).
 - Nach Ablauf der eingestellten Zeit erfolgt das Auslösen des Relais (rote LED), dadurch automatische Abschaltung Leistungsschalters sowie Anhalten der Uhr.
 - Stellen Sie folgende Zeiten (t_e) am Relais ein und notieren Sie die Ergebnisse (t_g).

t_e [s] (eingestellt)	0	0,2	1	5
t_g [s] (gemessen)				

Tabelle 2: Messwerte Abschaltzeiten

Stellen Sie fest, ob eine Absenkung des Fehlerstromes nach dem Ansprechen des Relais (gelbe LED ist an), aber vor Ablauf der Verzögerungszeit ein Auslösen des UMZ verhindert!

- Auswertung:
 - Vergleichen Sie die gemessenen Abschaltzeiten mit den am Relais eingestellten Werten.
 - Wie groß ist die Ansprechzeit des verwendeten Systems?

4.1.3 Messung der Abschaltzeit in Abhängigkeit vom Überstromfaktor

- Vorzunehmende Einstellungen:
 - UMZ: Ansprechwert auf **0,6 A**, Verzögerungszeit t z.B. auf **2,0 s**.
 - Stelltrafo: beginnend bei **0,0 V**, die ohmsche Last bleibt bei **R = 10%**
- Versuchsablauf:
 - Blockieren Sie die Auslösung des Leistungsschalters wie zuvor mit einer Brücke
 - Stellen Sie mittels Spannungserhöhung am Stelltrafo einen „Fehlerstrom“ I_F in den angegebenen Stromhöhen ein. (Die Einstellung des **UMZ-Relais bleibt auf 0,6 A / 2s!**)
 - Notieren Sie die gemessenen Ausschaltzeiten (t_g) bei jeder Fehlerstromhöhe (I_F).

I_F / A	0,5	0,63	1,0	1,8
t_g / s				

Tabelle 3: Messwerte in Abhängigkeit von der Höhe des Überstromes

Vermindern Sie die Spannung auf 0,0 V, schalten Sie den Leistungsschalter aus.

- Auswertung: Stellen Sie die Kennlinie **t_g = f(I_F)** grafisch dar (auch den 1. Messpunkt!).
- Welche Vor- und Nachteile hat das „unabhängige“ Verhalten, und wo wird es eingesetzt?

4.2 Dreiphasiges variables Überstromzeitrelais

Wechseln Sie jetzt zum rechten, dreiphasigen Messplatz.

- Verwendete Geräte: Dreiphasentransformator (regelbar), Leistungsschalter, variables Überstromzeitrelais XI1-I (dreiphasig, **745 231**)
Ohmsche Last, dreiphasig; 3 Multimeter (18 S)

Hinweis:

Dieses Relais kann als unabhängiges Überstromzeitrelais arbeiten (feste Abschaltzeit) mittels „t“ einstellbar. Alternativ kann es durch verschiedene Einstellungen der 8 DIP-Schalter als abhängiges Überstromzeitrelais arbeiten, dabei sind über „t“ mehrere Kennlinien und Zeitfaktoren einstellbar, ähnlich der Kennlinie von Bimetall- oder Schmelzsicherungen. Zudem hat dieses Relais eine zweite Stufe ($I >>$) zur Schnellabschaltung von Kurzschlüssen. Die Einstellanleitung liegt am Versuchsort aus.

4.2.1 Überprüfung der Überstrom-Ansprechwerte des Schutzrelais bei UMZ-Einstellung

- Aufbau des dreiphasigen Versuchsstromkreises:
 - Kontrollieren Sie die Verbindung aller PE-Anschlüsse mit dem PE der 3 ~-Quelle.
 - Erstellen / kontrollieren Sie die Laststromkreise L1, L2 und L3: 3 ~ Spannungsquelle, Leistungsschalter, Überstrom-Zeitrelais, ohmsche Last (1 Widerstandszweig je Phase, Sternpunkt an „N“).
 - Ergänzen Sie diese mit drei Multimetern zur Messung der Ströme aller 3 Phasen.
 - Die externe Stromversorgung „Supply“ des Schutzrelais erfolgt mit 230 V AC.
 - Verbinden Sie den Durchgangsprüfer mit dem Schließer von „I>“ des Relais.
- Der Nennstrom I_N des Relais ist **1 A**. Vorzunehmende Einstellungen:
 - Den Transformator zuerst auf $U_{LL} = 0V$ (Linksanschlag), die ohmsche Last auf $R = 0 \%$.
 - Alle 8 DIP-Schalter am Relais auf **OFF** stellen (Zustand DEFT: "Definite Time", = UMZ).
 - Belassen Sie die Einstellung der unteren Regler $I > / I_N$ (für die Kurzschluss-Schnellauslösung) auf **12,5 / 0 s**
 - Die Verzögerungszeit für $[t_{I>}]$ ist auf „0.0“ einzustellen (Linksanschlag).
 - Der Ansprechwert für die Überstromerkennung $I > / I_N$ ist nach Tabelle 5 zu variieren (Die Werte von Grob- und Feineinstellung sind zu addieren für den gewünschten Endwert).
- Versuchsablauf:
 - Nach Überprüfung durch den Versuchsbetreuer: Spannungsquellen einschalten.
 - Die Spannung am Stelltrafo ist so lange zu erhöhen bis der "Fehlerstrom" groß genug ist und das Relais anspricht (in der Nähe des Grenzwertes sehr langsam nachregeln).

Hinweis 1: Das Relais reagiert, sobald eine der Phasen der Grenzwert erreicht. Deshalb immer auf den höchsten angezeigten Wert achten und diesen notieren.

- Bestimmen und notieren Sie die gemessenen Werte von Ansprech- und Rückfallstrom.
- **Letzte Spalte:** stellen Sie "DIP 1" auf "on" (Zustand „NINV“ = **N**ormal-**I**Nverses **V**erhalten). Welches Ergebnis erwarten Sie? Testen Sie den letzten Wert nochmals. Erklären Sie den Unterschied.

Hinweis 2: Bei Überschreitung des eingestellten Grenzwertes blinkt die rote LED „I > “. Erst nach Ablauf der eingestellten Zeit leuchtet die LED dauerhaft und die Abschaltung erfolgt.

$I > / I_N$ (DEFT)	0,6	1,0	1,8	1,8 (NINV = „AMZ“)
I_{an} [A]				
$I_{rü}$ [A]				
f_R				

Tabelle 5: Messwerte bei Überstrom

Vermindern Sie die Spannung auf 0,0 V, und schalten Sie den Leistungsschalter aus.

- Auswertung: Berechnen Sie aus den gemessenen Werten (Spalte 2-4) das Rückfallverhältnis f_R .

4.2.2 Überprüfung der Abschaltzeit bei AMZ - Einstellung des variablen Relais

- Binden Sie jetzt die elektronische Uhr in Ihre Schaltung ein (analog zur Messung 4.1.2).
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - Ohmsche Last auf **R = 0%**; Stelltrafo auf **0,0 V** (Linksanschlag)
 - Auswahl am Relais: **"DIP 1" auf "ON"**, Regler für die Zeit-Auslösung „[t_{I>}]“ auf **0,1**
 - Überstromverhältnis (I>/I_N): auf **0,6** (bei den folgenden Messungen so belassen!)
- Versuchsablauf:
 - Nutzen Sie zum Einstellen des Fehlerstromes wieder die Überbrückung des Auslöse-Einganges („RELAY“) des Leistungsschalters.
 - Lassen Sie Ihre Schaltung vom Betreuer überprüfen. Schalten Sie die Spannung ein.
 - Erhöhen Sie die Spannung und damit den fließenden "Fehlerstrom" (I_F) auf einen vorgegebenen Wert (siehe Tabelle 6, eingestellte Nachkommastellen genau notieren).
 - Entfernen Sie die Brücke am Leistungsschalter-Modul. Setzen Sie die Uhr zurück.
 - Mit dem „ON“ des Leistungsschalter-Moduls wird die Stoppuhr gestartet und nach Auslösen vom Relais automatisch gestoppt. Notieren Sie die Zeit bei t_g (= "gemessen").
- **Letzte Spalte:** stellen Sie "DIP 1" zurück auf "OFF" (UMZ-Verhalten) und testen Sie nochmals die Auslösezeit bei 1,8 A Fehlerstrom. Beachten Sie das Ergebnis bei Ihren nachfolgenden Berechnungen.

I _F [A]	0,5	0,63	0,8	1,0	1,2	1,8	1,8 (DEFT = UMZ)
t _g [s]							
t _b [s]							

Tabelle 6: Abschaltzeit in Abhängigkeit vom Überstromfaktor

Vermindern Sie die Spannung auf 0,0 V, und schalten Sie den Leistungsschalter aus.

- Auswertung:
 - Die Gleichung für die Berechnung der Auslösezeit in Abhängigkeit vom anliegenden Überstrom des Messrelais (bei Relaiseinstellung NINV = „Normal Invers“) ist:

$$t_b = \frac{0,14}{\left(\frac{I_F}{I_{>}}\right)^{0,02} - 1} \cdot t_{I>} \quad (t_{I>} \text{ ist die eingest. Auslösezeit bei } I_{>})$$

- Bestimmen Sie gemäß dieser Gleichung die einzelnen Auslösezeiten (t_b = "berechnet")
 - Beachten Sie dabei auch den in der letzten Spalte gemessenen Wert! Aus diesem können Sie ermitteln, wie genau Sie die Einstellung 1 s getroffen haben.
 - Stellen Sie die Kennlinien t_g = f(I_F) und t_b = f(I_F) des Relais (Spalte 2-7) in einem gemeinsamen Diagramm grafisch dar und diskutieren Sie das Ergebnis.
- Umbau:
 - Entfernen Sie (bei ausgeschalteter Spannung!) das Überstromrelais, die Strommessgeräte sowie die Zeitschaltuhr aus der Schaltung.

4.3 Über- und Unterspannungszeitrelais

Hinweis:

Die Überprüfung des Zustandes „Überspannung“ soll Geräte vor Zerstörung schützen. Bei „Unterspannung“ könnte z.B. auf eine andere Spannungsquelle umgeschaltet werden. Außerdem kann eine Spannung außerhalb der Toleranzgrenze ein Hinweis darauf sein, dass der einspeisende Transformator bzw. Generator einen Fehler hat oder durch einen Fehler im Netz überlastet oder unterbelastet ist.

- Zusätzliche Geräte: Spannungsrelais SUR 358 (dreiphasig, **745 18**), $U_n = 380 \text{ V}$ (U_{LL})

4.3.1 Feststellung der Ansprech- und Rückfallwerte

- Versuchsaufbau:
 - Verbinden Sie die Spannungsquelle (3 Phasen) über den Leistungsschalter mit je einer Phase des Spannungsrelais (keine extra Spannungsversorgung nötig)
 - Schalten Sie parallel dazu je 1 Phase der ohmschen Last (Sternpunkt bleibt an „N“).
 - Verwenden Sie eines der Multimeter jetzt zur Spannungsmessung (Messbereich / Kabelanschlüsse sind zu beachten!). Messen Sie die Leiter-Leiter-Spannung an $U_{L2 L3}$.
 - Schließen Sie ggf. den Summer an, oder beobachten Sie die LED's am Relais.
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - Transformator auf **0 V** (Linksanschlag) einstellen
 - Das Relais hat eine Nennspannung von $U_n = 380 \text{ V}$; stellen Sie ein::
 - linker Regler: Zeitverzögerung **0,50 s** (minimal einstellbarer Wert)
 - mittlerer Regler: Ansprechwert der Unterspannung ($U <$) **0,94** x U_n
 - rechter Regler: Ansprechwert der Überspannung ($U >$) **1,05** x U_n (minimal einst. Wert)
 - Berechnen Sie und notieren Sie in der Tabelle die eingestellten Soll-Ansprechgrenzen in Volt.
 - Als Belastung dient der ohmsche Widerstand. Einstellung zu Beginn auf **R = 100 %**.
- Versuchsablauf:
 - Lassen Sie Ihre Schaltung kontrollieren, schalten Sie dann die Spannung ein.
 - Erhöhen Sie die Spannung. Beobachten Sie die LED's „Betrieb“ und „Unterspannung“
 - Bei weiterer Erhöhung verlischt die Unterspannungs-Anzeige (Wert $U_{r\underline{u}}$ notieren),
 - Bei weiterer Erhöhung spricht die Überspannungsanzeige an. (Ggf. kurz abwarten, oder die Last ganz abtrennen, siehe auch untenstehenden Hinweis.) Wert für U_{an} notieren, wenn möglich.
 - Spannung langsam vermindern bis das Relais wieder abfällt (Rückfallwert $U_{r\underline{u}}$ notieren)
 - Bei weiterer Verminderung spricht die Unterspannungsanzeige wieder an. U_{an} notieren.
 - Wiederholen Sie den Versuch nochmals und korrigieren Sie ggf. die Messwerte.

Einstellwerte	Unterspannungsanzeige $U < 0,94 \times U_n$		Überspannungsanzeige $U > 1,05 \times U_n$	
	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung
U_{an} (berechnet) [V]				
U_{an} [V]				
$U_{r\underline{u}}$ [V]				
f_R				

Tabelle 7: Messwerte bei Unter- und Überspannung

Hinweis:

der Praktikumsversuch wird mit geringfügig hochtransformierter normaler Netzspannung betrieben. Deshalb kann es bei starker Belastung des HTW-Netzes vorkommen, dass die höchste einstellbare Netzspannung geringer ist als der niedrigste Ansprechwert der Überspannung. Entfernen Sie ggf. die ohmsche Last.

Schalten Sie den Stelltransformator aus.

- Auswertung: Berechnen Sie aus den gemessenen Werten das Rückfallverhältnis f_R .

4.3.2 Nutzung des Relais als Überlastanzeige

- Versuchsaufbau: wie bei 4.3.1., ggf. ohmsche Last wieder anschließen.
- Ein Multimeter zur Messung des Laststromes an L1 anschließen (10-A- Bereich, „~“).
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - Einstellungen am Relais so lassen (siehe 4.3.1.).
 - Als Belastung dient der ohmsche Widerstand, beginnen mit **R = 100 %**.

Versuchsablauf:

- Einschalten des Transformators, hochregeln bis Unterspannungsanzeige verlischt (bei ca. **$U_{LL} = 390 \text{ V}$**).
- Vermindern Sie langsam die Spannung bis die Unterspannungsanzeige anspricht.
- Das Relais hat eine Ansprechspannung von $U = \dots\dots\dots \text{V}$

Hinweis: Bei hoher Belastung einer Anlage führt die Impedanz der Leitungen und der Spannungsquelle zu einem unerwünschten Spannungsabfall, der sich vor allem am Ende der Leitung bemerkbar macht. Durch eine Verkleinerung des ohmschen Widerstandes der Last kommt es zu einer Überlastung des Trafos, die Netzspannung sinkt und das Relais spricht an.

- Stellen Sie den Transformator **genau so** ein, dass das Relais gerade so noch nicht anspricht (1 - 2 V oberhalb der Ansprechspannung). ($U = \dots\dots\dots \text{V}$)

Achtung! Messungen **zügig** durchführen zur Vermeidung der Überhitzung des Lastwiderstandes!

- Vermindern Sie den Lastwiderstand unter Beachtung des maximalen Stromes
- kurzzeitig sind **maximal 3 A zulässig**, (d.h. **R_{Last} nicht unter 10 %** drehen) bis die LED aufleuchtet. Wert merken. ($U = \dots\dots\dots \text{V}$)
- **Sofort** Widerstand auf 100 % zurückdrehen.
- Trafo auf 0V herunterdrehen. Leistungsschalter ausschalten.
- Vergleichen Sie den gemessenen Wert mit denen der Aufgabe 4.3.1.

4.3.3 Messung des Eigenverbrauches

Hinweis: Relais verbrauchen selbst Energie, z.B. für die Messwerterfassung, -Anzeige und – Weiterleitung, sowie ggf. für das mechanische Betätigen von Schaltern. Wenn diese Energie von Messwandlern zur Verfügung gestellt wird, darf dabei deren Nennbürde nicht überschritten werden.

Versuchsaufbau:

- ergänzen Sie die Schaltung mit den notwendigen Messgeräten (ggf. siehe Schaltbild S. 8)
- vorzunehmende Einstellungen:
 - Lastwiderstand auf **R = 100 %** , Transformator beginnen bei **0 V**.

Versuchsablauf:

- Lassen Sie die Schaltung vom Versuchsbetreuer kontrollieren.
- Schalten Sie den Leistungsschalter ein. Beobachten Sie die Werte von aufgenommenem Strom und Spannung. Erhöhen Sie die Spannung. Beobachten Sie den Einfluss der LED's.
- Notieren Sie die höchsten beobachteten Messwerte.

U [V]	
I [mA]	
S [VA]	

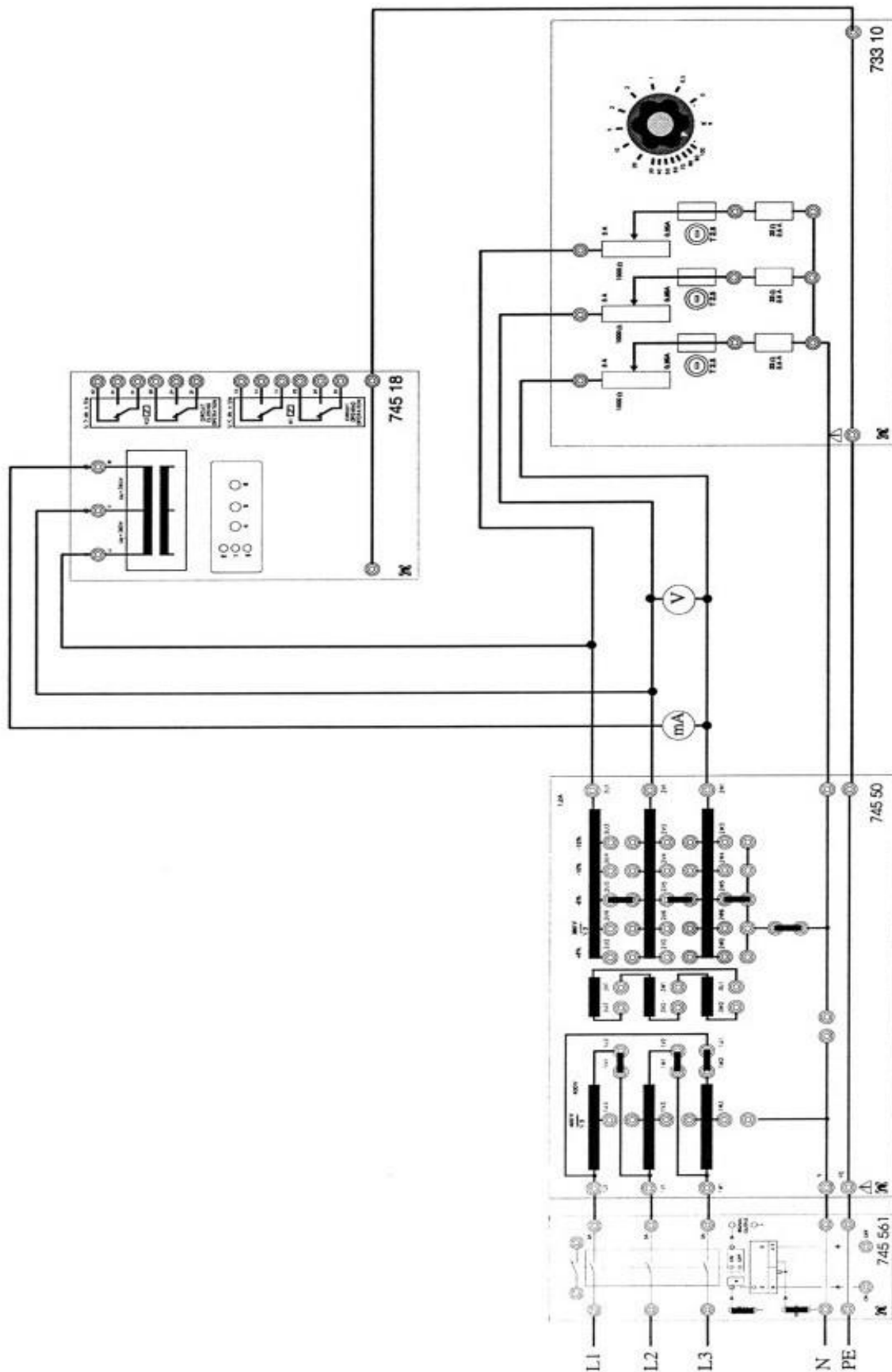
Tabelle 8: Messwerte Eigenverbrauch

Vermindern Sie die Spannung auf 0,0 V und schalten Sie den Leistungsschalter aus.

Auswertung:

- Berechnen Sie die maximal aufgenommene Scheinleistung des Relais.
- Wäre dieses Relais als Bürde für den 3 ~ Spannungswandler (**745 16**, 15 VA) geeignet?

Schaltung zur Bestimmung des Eigenverbrauchs eines Spannungsrelais



4.4 Leistungsrichtungsrelais

Hinweis: Versuchsaufbau mit der einphasigen Einspeisung (am linken Messplatz).

- Erforderliche Geräte: Stelltransformator (Trennstelltrafo, einphasig)
Leistungsrichtungsrelais REX-911 (**745 20**)
zusätzliche L-C-Last, ohmsche Last wie bisher
2 Digitalmultimeter (METRAHIT 18 S)

4.4.1 Leistungsmessung am zweiphasigen Netz

Problemstellung: bei speziellen Fehlern und Netzkonfigurationen können einfache Überstrom- oder Spannungsmessrelais Fehler nicht selektiv und deshalb ggf. nicht schnell genug abschalten. Durch die gleichzeitige Messung von Strom und Spannung können aus deren Größenverhältnis und deren Phasenverschiebung viel genauere Informationen zu Fehlerart und Fehlerort gewonnen werden. Das hier verwendete Relais kann z.B. durch die Bewertung der Leistung auch bei variabler Speisespannung Erzeuger oder Verbraucher vor thermischer Überlastung schützen, oder feststellen, ob der Fehlerort vor oder hinter dem Relais liegt, oder nur bei zu hohem Blindleistungsanteil abschalten.

- Aufbau des Versuchsstromkreises:
 - Kontrollieren Sie die Verbindung aller Schutzerden zum PE der 3 ~ Anschlusseinheit.
 - Nutzen Sie wie zuvor den Stromkreis mit der Spannungsquelle und der ohmschen Last. Die drei Stränge der Last sind parallelgeschaltet (Zeitschaltuhr zuvor entfernen)
 - Fügen Sie den Strompfad (1A) des Relais polaritätsrichtig in den Stromkreis ein. („·“ = „A2“ = „k“ = „Kraftwerk“ = farbiges Kabel) sowie ein Multimeter (einstellen auf 10A, ~).
 - Verbinden Sie den Spannungspfad (**100 V**) des „REX“ polaritätsrichtig mit dem Stromkreis („·“ = „A11“ = „k“ = „Kraftwerk“ = farbig) zwischen Phase und „N“, und mit einem Multimeter (als Spannungsmessgerät). Nutzen Sie richtige Messbereiche / Buchsen.
 - Ergänzen Sie das Relais mit einer passenden Spannungsversorgung (**230 V AC**).
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - Am Relais ist der Faktor P zuerst auf **10** (10 W) einzustellen, die Zeit t auf **00** (s).
 - Der Umschalter ist auf einen Messwinkel von **0°** einzustellen (ohmsche Lasten, „Ω“).
 - Am ohmschen Lastwiderstand ist zuerst der Wert von **R = 10 %** einzustellen.
 - Stelltrafo: Beginn bei **0,0 V** (Linksanschlag).
- Versuchsablauf:
 - Nach Abnahme durch den Betreuer: Spannung einschalten.
 - Erhöhung der Spannung am Stelltransformator (ca. 30 V, **maximal 99 V !**)
 - bzw. der Stromhöhe (mittels ohmschen Widerstand) auf ca. 0,4 A, (bis max. **1 A** !)
 - bis das Relais anspricht. Notieren Sie die Strom- und Spannungswerte.
 - Spannung absenken bis Relais zurückfällt, dann weiter bis auf 0 V.
 - Weitere Einstellungen nach Tabelle. Messwerte notieren.

R (%)	ca. 10 %	ca. 40 %	ca. 5 %
P (W)	10	50	50
I (A)			1,0
U (V)		80	
P _{an} [W]			

Tabelle 9: Messwerte

Vermindern Sie die Spannung am Stelltrafo bis auf 0,0 V, schalten Sie den Leistungsschalter aus.

- Berechnen Sie P_{an}. Vergleichen Sie die gemessenen/ berechneten Leistungen mit den am Relais eingestellten!

4.4.2 Bewertung der Leistungsrichtung und der Phasenlage

Hinweis:

Mittels Bewertung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung können z.B. in zweiseitig gespeisten Netzen nur Fehler, die von einer Spannungsquelle aus gesehen hinter dem Relais liegen, ggf. zusätzlich nur überhöhte Wirkleistungen oder nur induktive oder nur kapazitive Fehler abgeschaltet werden. Zudem könnte durch die Feststellung der Leistungsrichtung ein unerwünschter generatorischer Betrieb von Motoren angezeigt werden.

- Zusätzliches Gerät: L-C-Last
- Vorzunehmende Einstellungen:
 - Am Relais Leistungsfaktor **P** wieder auf **10** (10 W) einstellen, der Zeitfaktor **t** auf **00**.
 - Der Umschalter ist zunächst auf Messwinkel **0°** zu belassen (ohmsche Lasten, „Ω“).
 - Am Lastwiderstand ist ein Wert von **ca. R = 15 %** einzustellen.
 - Inbetriebnahme des Relais (Spannungsversorgung / Leistungsschalter einschalten).
 - Erhöhung der Spannung am Stelltrafo bis das Relais anspricht (**25 - 30 V / 0,4 - 0,5 A**).
 - Messwerte notieren.
 - Abschaltung des Stelltrafos (ohne die Spannung herunter zu drehen!).
 - Berechnen und kontrollieren Sie den Ansprechwert der Leistung.
- Versuchsablauf:
 - Stellen Sie fest, bei welchen Einstellungen welche Lasten zum Auslösen des Relais führen.
 - Ändern Sie bei ausgeschaltetem Stelltrafo die Lastrichtung mittels Vertauschung der Kabel am Stromeingang des Relais (jetzt farbiges in untere Buchse). Einschalten des Stelltrafos. Ist eine Auslösung erfolgt? Ist die umgesetzte Leistung groß genug? (ggf. nachregeln) Notieren Sie das Ergebnis (Auslösung: ja /nein).
 - Stelltrafo ausschalten. Stromkabel wieder richtig herum anstecken.
 - Austausch der ohmschen Last gegen eine Induktivität (0,3 H) Einschalten des Stelltrafos. Ist die umgesetzte Leistung im Auslösebereich? (Ggf. Nachregeln der Spannung). Erfolgt eine Auslösung? (ja / nein)
 - Stelltrafo ausschalten, Test bei vertauschten Kabeln.
 - Weiterer Test mit einer kapazitiven Last in beiden Kabel-Zuordnungs-Varianten.
 - **Ausschalten des Stelltrafos und der Betriebsspannung des Leistungsrelais.**
 - Veränderung der Einstellung des Leistungsrichtungsrelais **von 0° auf 90°** (Kippschalter in Richtung rote Markierung stellen).
 - Wiederholen Sie die Tests und notieren Sie ob eine Auslösung erfolgte oder nicht.

Lastart	R (ca. 85 Ohm)		L (ca. 0,3 H)		C (ca. 30 µF)	
Messwerte / berechnete Leistung	I =	U =	P =	I =	UI =	P =
Stromanschluss	richtig	vertauscht		richtig	vertauscht	
Auslösung bei Einstellung 0°						
Auslösung bei Einstellung 90°						

Tabelle 10: Messwerte

- Auswertung: Stellen Sie dar, unter welchen Bedingungen das Relais auslöst, z.B. in einem 4-Quadranten-Diagramm in der komplexen Ebene.

5. Verwendete Formelzeichen

C	Kapazität
f_R	Rückfallverhältnis
I	Strom
I_{an}	Ansprechwert der Überstromauslösung
I_F	Fehlerstrom
I_N	Bemessungsstrom (Nennstrom)
$I_{r\ddot{u}}$	Rückfallwert des Stromes
$I_{>}$	Überstrom
$I_{>>}$	Kurzschlussstrom (Schnellauslösung)
$I_{>} / I_N$	Überstromfaktor
L	Induktivität
P	Leistung, elektrisch
P_{an}	Ansprechwert der Leistungsobergrenze
R	Widerstand, elektrisch
S	Scheinleistung
t_b	Zeit, berechnet
t_e	Zeit, eingestellt
t_g	Zeit, gemessen
$t_{I_{>}}$	Zeit bis zur Auslösung der Abschaltung wegen Überstrom
U	Spannung
U_{an}	Ansprechwert der Über- oder Unterspannung
U_N	Bemessungsspannung (Nennspannung)
$U_{r\ddot{u}}$	Rückfallwert des Spannungsrelais
α	charakteristischer Winkel des Leistungsrichtungsrelais

6. Literatur

- [1] Clemens, H., Rothe, K.: Schutztechnik in Elektroenergiesystemen
3. stark bearbeitete Auflage, Berlin: Verlag Technik, 1991
- [2] Doemeland, W.: Handbuch Schutztechnik.
6. aktualisierte u. erweiterte Auflage, Berlin: Verlag Technik; Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 1997, 8. überarbeitete Auflage, Berlin, Huss-Medien u.a., 2007
- [3] Müller, L., Boog, E.: Selektivschutz elektrischer Anlagen.
2. Ausgabe, Frankfurt a. M.: VWEW-Verlag, 1990
- [4] Ungrad H.; Winkler M.; Wiszniewski A.: Schutztechnik in Elektroenergiesystemen.
2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991, 1994
- [5] Zube, B.: Selektivschutz für elektrische Netze und Anlagen.
Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 1990
- [6] Crastan, V.: Elektrische Energieversorgung 1; 4. Auflage, Berlin, Heidelberg
Springer Vieweg; 2015; Volltext an der HTW online verfügbar (Kapitel 14: Schutztechnik)
- [7] Kasikci, I.: Planung von Elektroenergieanlagen: Theorie, Vorschriften, Praxis; Springer-Verlag, 2018; Volltext an der HTW online verfügbar (Kapitel14: Netzschutz)
- [8] Schwab, Adolf J.: Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Übertragung und Verteilung
Elektrischer Energie; Springer-Verlag, 2015; an der HTW online verfügbar (Kapitel 14)
- [9] Cichowski, R.; Schossig, W.; Schossig, T.: Netzschutztechnik, VDE – Verlag, 2018;
Volltext an der HTW online verfügbar
- [10] Rogler, R.-D.: Vorlesung „Schutztechnik“, HTW Dresden