

Praktikum Schaltanlagentechnik

Versuch E 29: Gleich- und Wechselstromlichtbögen

08 / 2024

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

1. Versuchsziel

In der Praxis treten Lichtbögen bei Überbeanspruchung von Isolieranordnungen oder beim Unterbrechen leistungsstarker Stromkreise auf. Wegen der damit verbundenen großen Wärmeentwicklung sollen Schaltlichtbögen schnell gelöscht oder an weniger gefährdete Stellen gelenkt werden. Das Entstehen von Störlichtbögen soll verhindert werden.

Für Entwicklung und Einsatz von Bauelemente zur Unterbrechung leistungsstarker Stromkreise müssen die physikalischen Vorgänge im Lichtbogen, die Strom-Spannungs-Charakteristiken und die Auswirkung von Umgebungsbedingungen bekannt sein.

Im Versuch sollen die u , i - Kennlinien von Gleich - und Wechselstromlichtbögen aufgenommen werden. Dabei werden, wie bei einem Schalter, die geschlossenen, stromdurchflossenen Elektroden geöffnet. Im Gegensatz zu einem Schalter erfolgt dies sehr langsam, so dass sich ein konstant brennender Lichtbogen ausbildet, der beobachtet und vermessen werden kann. Durch die Einstellung verschiedener Stromstärken und Elektrodenabstände können mehrere verschiedene Lichtbögen erzeugt werden.

2. Aufbau der Versuchsanlage

Schaltschrank, dieser enthält im Wesentlichen:

- Lichtbogenstrecke (längenverstellbar), Tür mit Sichtfenster aus Schweißerglas
- Verstellbarer R_2 zur Einstellung der Stromstärke / der Stromkreisinnenwiderstände
- Steuerung (SPS) sowie Schutz-, Schalt- und Verbindungselemente
- Messwertaufnehmer: ein Messsensor "LV 25-P" zur Erfassung des Spannungsabfalls über dem Lichtbogen, Shunt oder Stromzange zur Erfassung der Ströme.

Spannungsversorgung, diese enthält im Wesentlichen:

- Stelltrafo (0-400 V, 3 ~), 12-Puls-Brückengleichrichter (für den DC- Lichtbogen)
- Schalttafel mit Schaltern, Sicherheits- und Messeinrichtungen
- Netzspannung (230 V, 1~) für die Steuerung (im LB-Schrank gewandelt auf 24 V DC)

Multimeter oder USB-Oszilloskop zur Anzeige/ Aufnahme von Spannung / Strom beim Gleichstromlichtbogen, USB-Oszilloskop zur Aufnahme der zeitlichen Verläufe von „ u “ und „ i “

Diese Anleitung enthält keinen Theorieteil. Bitte nutzen Sie dazu die angegebene Literatur!

3. Vorbereitungsaufgaben (bitte stichpunktartig beantworten, ggf. Skizze einfügen)

1. Wo gibt es in Natur oder Technik Lichtbögen? Wodurch entstehen sie? Welche positiven / negativen Wirkungen haben diese?
2. Skizzieren Sie die $U = f(I)$ - Kennlinie eines Gleichstromlichtbogens und die eines aktiven Zweipols in einem Diagramm. Erklären Sie, unter welchen Bedingungen sich ein Lichtbogen bilden kann.

Wichtig: Bereiten Sie für Versuch 5 pro Gruppe eine Messwerttabelle und ein Diagramm ($U = f(I)$) vor. Es sollen 3 verschieden starke Lichtbögen (abhängig vom R_2) bei je 3 verschiedenen Lichtbogenlängen dargestellt werden. Nutzen Sie dabei bitte ein Tablet / Notebook und Excel / Matlab o.ä. und bringen Sie es zum Versuch mit.

3. Aus welchen Teilen besteht ein Lichtbogen, wie groß sind die Teil-Spannungsabfälle?
4. Welche Elementarvorgänge spielen sich in der Lichtbogensäule ab?
5. Was versteht man unter der Zeitkonstante des Lichtbogenwiderstandes und weshalb interessiert uns diese?
6. Skizzieren Sie die $U = f(t)$ - Kennlinie eines Wechselstromlichtbogens. Kennzeichnen Sie Zünd- und die Löschspitze. Wodurch entsteht die Zünd- und wodurch die Löschspitze?
7. Welcher prinzipielle Unterschied hinsichtlich der Lichtbogenlöschung besteht zwischen Wechselstrom- und Gleichstromschaltern?
8. Wie beeinflusst die Konvektion die Gestalt frei brennender Lichtbögen?
9. Wodurch kann es ebenfalls zu einer Bewegung des Lichtbogens kommen? Warum interessiert man sich dafür?
10. Wodurch kann die Löscharkeit von Lichtbögen verbessert werden?

4. Literatur

- [1] Philippow, E. Taschenbuch Elektrotechnik, Bd. 5, Kap. 3.2: Schaltlichtbogen S. 624-664, VEB Verlag Technik, Berlin 1980 (1981, 1986), Text im OPAL verfügbar
- [2] Philippow, E. Taschenb. Elektrotechnik, Bd. 6, Kap. 2.3.9: Lichtbogenschutz S. 382 - 386, VEB Verlag Technik, Berlin 1982 (1988)
- [3] Böhme, H. Mittelspannungstechnik, Kapitel 9: Lichtbogenschutz Verlag Technik, Berlin, 2005
- [4] Crastan, V. Elektrische Energieversorgung1, Kapitel 13: Schalter und Schaltvorgänge, Springer Verlag, 2015, in HTW als eBook verfügbar
- [5] Heuck, K. Elektrische Energieversorgung, Kapitel 7.1: Lichtbogenkurzschlüsse in Anlagen, Springer-Viehweg, 2013, in HTW als eBook verfügbar

5. Gleichstromlichtbogen

Im Lichtbogenschrank befinden sich mehrere Bauteile, die der Erzeugung von Gleichstromlichtbögen mit verschiedenen Stromstärken dienen (Abbildung 1). Als Elektroden werden hier Kupferstäbe benutzt. Die Zündung des Lichtbogens erfolgt durch Abrisszündung während des Auffahrens der Elektroden. Die Aufnahme der Messwerte für die U , I - Kennlinien erfolgt mit Oszilloskop (als Transienten-Rekorder) oder mit Multimetern.

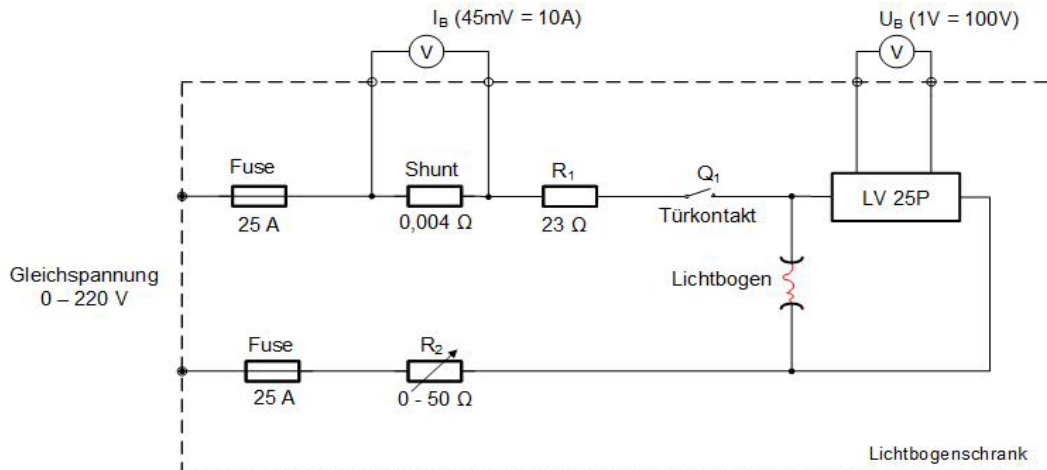


Abbildung 1: Schaltbild des Gleichstromkreises innerhalb des Lichtbogenschrankes

5.1. Versuchsvorbereitung:

- Oszi oder Multimeter anschließen, Einstellung beider Geräte auf „DC“-Spannung.
- Fernsteuerung und des Lichtbogenschrankes: siehe Platzanleitung!
- Die Kupferelektroden berühren sich Im Zustand „ZU“?, ggf. nachjustieren.
- Auffahren der Elektroden (3 versch. Endpunkte), **Abstände messen und notieren**.
- Aufgaben aufteilen: (Lichtbogensteuerung, Messwerte ablesen, Messwerte notieren).
- Tabelle öffnen (Vorbereitungs- Aufgabe 2)

5.2. Versuchsdurchführung:

- DC-Leerlaufspannung hinter dem Gleichrichter: einstellen auf 220 V
- Erster Lichtbogen: hoher Netzzinnenwiderstand, größte Lichtbogenlänge.
- Elektroden „ZU“, Tür schließen. „S2“ einschalten. Leerlaufspannung U_{sek} **notieren**.
- Taster „**Lichtbogen [EIN]**“. Ist der „Kurzschlussstrom“ $I_B = \text{ca. } 3 \text{ A}$? (I_{sek} **notieren**)
- Ggf. Start Oszilloskop („RUN“). Betätigen Sie zügig den Taster „**Elektroden [AUF]**“.
- **Ablesen** der Messwerte I_B , U_B , (sofort, sobald sie einigermaßen stabil sind). Danach:
- Sofort Taster „**Lichtbogen [AUS]**“, Werte notieren, „**Elektroden [ZU]**“ betätigen.
- Wiederholen Sie die Messung zunächst mit den beiden anderen Lichtbogenlängen.
- Übernehmen Sie die Messwerte in Ihr Diagramm. Sind plausibel? , ggf. wiederholen.
- Erstellen Sie 2 weitere Messreihen mit **2 weiteren Werten R_2** (jeweils I_{sek} **notieren**).

5.3. Auswertung:

- Komplettieren Sie Ihre Tabelle durch nachträgliche Umrechnung in reale Werte.
- Verbinden Sie die Punkte im Diagramm zu Kennlinien $U = f(I)$, (eine je El.-abstand)
- Ergänzen Sie das Diagramm mit den Kennlinien der aktiven Zweipole.(eine je R_2)
- Erklären Sie die Abhängigkeit der U/I - Verhältnisse der festgestellten Arbeitspunkte von der Lichtbogenlänge / dem Netzzinnenwiderstand. Erklären Sie die Verläufe. Entsprechen diese der Theorie?
- Vergleichen Sie Ihre Messwerte mit Literaturwerten, z.B. mit denen von Rüdenberg.

6. Wechselstromlichtbogen

Die Aufnahme des zeitlichen Verlaufs von "u" und "i" des Wechselstromlichtbogens (50 Hz) erfolgt mit der Schaltung nach Abbildung 2. Wegen des stabileren Lichtbogens werden hier die Graphitelektroden benutzt. Die Zündung des Lichtbogens erfolgt wieder durch Abrisszündung. Die Aufnahme des zeitlichen Verlaufs von Strom und Spannung erfolgt mit dem Oszilloskop.

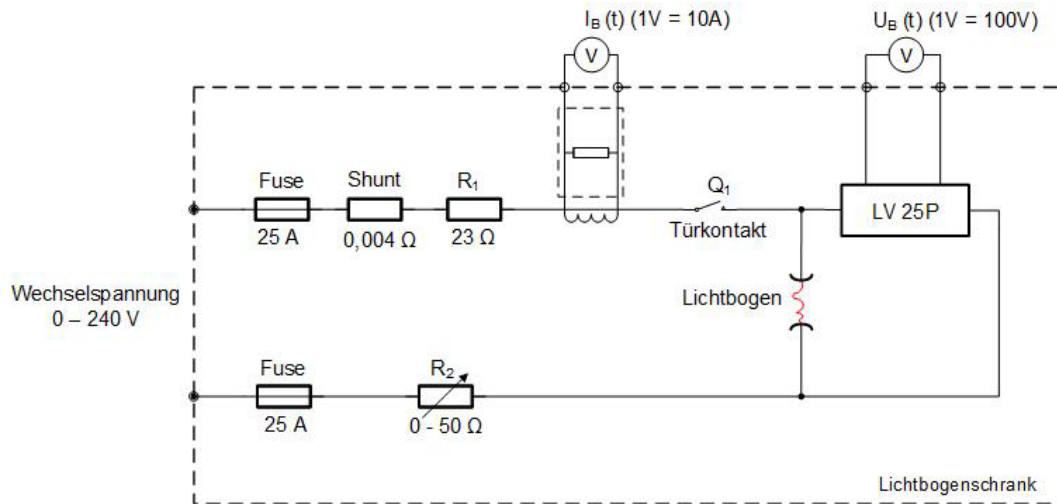


Abbildung 2: Schaltbild des Wechselstromkreises

6.1. Versuchsvorbereitung:

- Umbau der Schaltung auf AC-Spannungsversorgung (siehe Platzanleitung)
- Anschluss USB-Oszi an den Lichtbogenschrank, Überprüfung der Einstellungen
- Elektroden „ZU“, einspannen von Kohlestäben als Elektroden

6.2. Versuchsdurchführung:

- Stellen Sie die notwendige AC-Leerlaufspannung für den Lichtbogenstromkreis ein.
- Erster Lichtbogen: niedriger Netzzinnenwiderstand (R_2), kleinste Lichtbogenlänge (3).
- Elektroden „ZU“, Tür schließen. Schalter „S2“ einschalten. Oszi starten mit „Run“.
- Taster „**Lichtbogen [EIN]**“ und dann den Taster „**Elektroden [AUF]**“.
- Beobachten Sie den Aufbau der Kennlinie am Oszilloskop und fixieren Sie die Darstellung sofort (mittels Button Run / **Stopp**).
- Schalten Sie den **Lichtbogen [AUS]**, dann **Elektroden [ZU]**.
- Ist der erwartete zeitliche Verlauf zu sehen? Ggf. Messung wiederholen.
- Optimieren Sie die grafische Darstellung ($u / i = f(t)$) und speichern Sie diese ab.
- Wechseln Sie zum **x/y-Modus** (parameterfreie Darstellung, $u = f(i)$), speichern Sie.
- Nehmen Sie eine weitere Kennlinie bei mittlerem Elektrodenabstand auf und speichern Sie die Darstellungen der beiden Modi ebenfalls ab.

6.3. Auswertung:

- Fügen Sie die 4 Grafiken in Ihr Protokoll ein. Bezeichnen Sie die Achsen.
- Erklären Sie die einzelnen Teilabschnitte der Kurvenverläufe, deren physikalischen Hintergrund und die Unterschiede bei unterschiedlichen Lichtbogenlängen.
- Treffen Sie anhand der Verläufe Aussagen zu Möglichkeiten der Lichtbogenlöschung.