

Einfache Schaltvorgänge in elektrischen Netzwerken

Teil 2: Beispiele mit Freilaufdioden aus der Praxis

G. Graichen, Chemnitz

In [1] wurden die **grundlegenden Gegebenheiten und Zusammenhänge zu einfachen Schaltvorgängen in elektrischen Netzwerken aufgezeigt (Stetigkeitsbedingung, Anfangsbedingung, stationärer Zustand und flüchtiger Anteil)**. Davon ausgehend werden nun Schritte zur Analyse und Bewertung von Schaltvorgängen anhand einfacher praktischer Beispiele erläutert.

Praktische Beispiele

Die im Folgenden ausgewählten praktischen Beispiele betreffen

Autor

Dr.-Ing. Günter Graichen ist als freier Fachjournalist tätig, Chemnitz.

im wesentlichen Lösungen für den kontrollierten Auf- und Abbau der in einer Induktivität gespeicherten magnetischen Energie beim Schalten mit Hilfe sogenannter Freilaufeinrichtungen. Derartige Probleme treten bei der Steuerung elektromagnetischer Relais in vielfältiger Form auf.

Spule mit Freilaufdiode

Bild 1 zeigt eine Schaltung zum Ein- und Ausschalten von Spulen mit einer Freilaufdiode. Da – wie zu Bild 2 erläutert [1] – während des Einschaltvorganges ständig die Spannung E an der Reihenschaltung von L und R_L anliegt, wird die Diode D in Sperrrichtung betrieben. Diese hat keinerlei Einfluss auf den Einschaltvorgang und damit auf den Aufbau der magnetischen Energie in der Spule. Die zulässige Sperrspannung der Diode muss größer als die Betriebsspannung E sein. Im Moment des Öffnens des Kontaktes kehrt sich die Polarität der Spannung an der Induktivität und damit an der Spule um (vergl. Induktionsgesetz). Aufgrund der Stetigkeitsbedingung $i_L(-0) = i_L(+0)$ für den Spulenstrom und der Polaritätsumkehr der Spannung an der Induktivität geht der Strom stetig auf die Diode D über, die jetzt in Flussrichtung betrieben wird. Der zulässige Durchlassstrom der Diode muss entsprechend groß sein. Die in der Spule gespeicherte magnetische

Energie $W_L = \frac{1}{2} L \cdot I_L^2$ wird durch den Strom

$$i_L(t) = \frac{E}{R_L} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (1)$$

mit einer Zeitkonstanten

$$\tau_L = \frac{L}{R_L}$$

während des Stromflusses am geöffneten Kontakt eine Maximalspannung auf, die um die meist zu vernachlässigende Flussspannung der Diode größer als die Betriebsspannung ist. Eine Funkenbildung am sich öffnenden Kontakt ist somit ausgeschlossen.

Der Schutz des Schalters vor unzulässig hohen Abschaltspannungen ist besonders beim Einsatz elektronischer Schalter unverzichtbar, um diese vor Schäden bzw. evtl. Zerstörung zu schützen. Da elektronische Schalter sehr rasch abschalten, ist bei der Auswahl der Freilaufdiode des Weiteren darauf zu achten, dass eine ebenso rasche Stromübernahme erfolgen kann. Eine kurze Einschaltzeit der Diode wird erforderlich.

SYSTEME FÜR ZEIT, LICHT, KLIMA.



theben®

Zentral steuern – ganz einfach



LUXOR 426 steuert Beleuchtung, Jalousie und Lüftung

Zentrales Anzeige-, Steuer- und Bediengerät für das LUXOR-System. Anzeige von Uhrzeit, Wochentag, Datum sowie Zentral AUS, Lichtszenen, Panik und Anwesenheitssimulation. Auch die Wetterdaten der LUXOR-Wetterstation mit Sonnenschutzautomatik werden angezeigt.

- Einfache Bedienung und Einstellung ohne PC
- 6 verschiedene Anzeigeseiten
- 8 Zeit- und Astrokanäle z. B. für Rollladensteuerung
- LUXOR – das komplette System für die Gebäudeautomation

Interessiert? Mehr über das neue LUXOR-Bediengerät erfahren Sie im Internet: www.theben.de/produkt/4260000

Theben ist Partner von:



Theben AG | Tel. +49 (0) 74 74/6 92-0 | info@theben.de | www.theben.de

Spule mit Freilaufdiode und Widerstand

Die bisherigen Erläuterungen [1] zeigten, dass der kontrollierte Abbau der magnetischen Energie mit einer wirksamen Zeitkonstanten

$$\tau_L = \frac{L}{R_L} \text{ relativ langsam erfolgt.}$$

Das kann z. B. eine entsprechende Verzögerung beim Öffnen der Arbeitskontakte eines elektromagnetischen Relais zur Folge haben. Ist dies unerwünscht, kann die Schaltung nach Bild 1 durch einen Widerstand R_D in Reihe zur Freilaufdiode gemäß Bild 3 ergänzt werden. Der zusätzliche Widerstand beeinflusst den Einschaltvorgang und den Ein-Zustand erwartungsgemäß nicht.

Im Moment des Abschaltens bei $t = 0$ geht der Strom

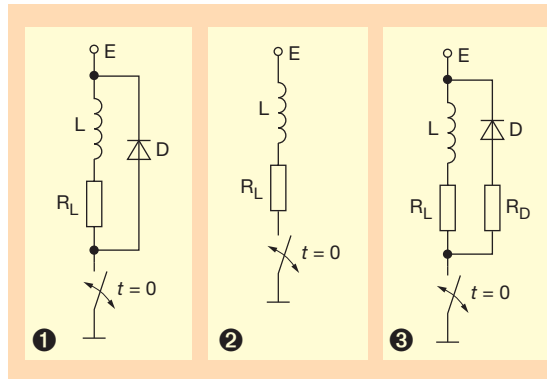
$$i_L(0) = \frac{E}{R_L} \text{ wie bei der Schaltung}$$

nach Bild 1 auf die Freilaufeinrichtung über. Die elektrischen Parameter der Freilaufdiode bleiben somit gegenüber der Schaltung nach Bild 1 insgesamt unverändert. Am Widerstand R_D entsteht ein Spannungsabfall

$$U_{RD}(0) = i_L(0) \cdot R_D = E \cdot \frac{R_D}{R_L} \quad (2)$$

Damit erhöht sich die Spannung am Kontakt im Moment seines Öffnens bei Vernachlässigung der Flussspannung an der Diode auf

$$U_K(0) = [1 + \frac{R_D}{R_L}] \cdot E \quad (3)$$



1 Schaltung zum Ein- und Ausschalten von Spulen mit Freilaufdiode

2 Prinzip des Ein- und Ausschaltens von Spulen

3 Schaltung zum Ein- und Ausschalten von Spulen mit Freilaufdiode plus Reihenwiderstand

Während des Abmagnetisierungsvorganges fällt die Kontaktspannung entsprechend

$$u_K(t) = E + \frac{R_D}{R_L} \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (4)$$

auf den stationären Endwert $U_{K(\infty)} = E$. Dem Nachteil der erhöhten spannungsmäßigen Kontaktbelastung bzw. der erhöhten Sperrbelastung eines elektronischen Schalters steht ein Vorteil hinsichtlich der Geschwindigkeit des kontrollierten Abbaus der gespeicherten magnetischen Energie gegenüber. Dies erfolgt jetzt mit einer je nach R_D wesentlich kleineren Zeitkonstanten für den Strom:

$$\tau_{L1} = \frac{L}{R_L + R_D} < \tau_L \quad (5)$$

Eine Verzögerung beim Öffnen der Arbeitskontakte eines elektromagnetischen Relais kann somit wesentlich verkürzt werden. In der Praxis ist stets ein Kompromiss zwischen Sperrbelastung des steuernden Schalters und notwendiger Geschwindigkeit beim kontrollierten Abbau der gespeicherten magnetischen Energie entsprechend den konkreten Erfordernissen zu bestimmen und zu realisieren.

Spule mit Freilaufdiode und Kondensator

Nachdem eine Möglichkeit zur Beschleunigung der Abmagnetisierung von geschalteten Spulen und damit zur praktischen Reduzierung der Abfallzeit eines elektromagnetischen Relais erläutert wurde, soll nachfolgend eine Variante bevorzugt zur Beschleunigung des Aufbaus der magnetischen Energie in einer geschalteten Spule und damit zur praktischen Reduzierung der Anzugszeit eines elektromagnetischen Relais diskutiert werden. Bild 4 zeigt eine entsprechende Schaltung, die in der Praxis sehr häufig genutzt wird.

Stationärer Zustand

Geht man zunächst vom stationären Ein-Zustand eines elektromagnetischen Relais aus, so ist festzustellen, dass infolge dann aufgeladenem Kondensator C_V mit $i_{CV}(\infty) = 0$ der Spulenstrom

$$i_L(\infty) = \frac{E}{R_L + R_V} \quad (6)$$

beträgt. Der Widerstand R_V ist folglich so zu bemessen, dass stets der für die Halteerregung des Relais erforderliche Strom fließen kann.

Einschaltvorgang

Für praktische Überlegungen ist davon auszugehen, dass vor dem Schließen des Kontaktes bei $t = 0$ der Kondensator C_V entladen ist [$U_{CV}(0) = 0$]. Der Kondensator wirkt somit zu Beginn des Einschaltvorganges wie ein Kurzschluss für den Widerstand R_V [vergl. Stetigkeitsbedingung $U_C(-0) = U_C(+0)$]. Das hat

zur Folge, dass der Strom über die Spule rasch ansteigt. Der für die Anzugserregung des Relais erforderliche Strom wird rasch erreicht und damit die Anzugszeit des Relais verkürzt. Während der Aufladung des Kondensators C_V fällt der Spulenstrom schließlich bis auf den für die Aufrechterhaltung der Halteerregung erforderlichen Wert mit aufgeladenem Kondensator [$i_{CV}(0) = 0$] ab, siehe Gleichung (6).

Ausschaltvorgang

Mit dem Öffnen des Kontaktes in der Schaltung nach Bild 4 werden zwei unabhängig voneinander ablaufende Zeitvorgänge gestartet. Zum einen kommt es zu einem kontrollierten Abbau der gespeicherten magnetischen Energie in der Relais-Wicklung infolge Stromfluss über die Freilaufdiode. Diese Vorgänge wurden bereits zu der Schaltung nach Bild 1 erläutert. Zum anderen kommt es zu einer Entladung des Kondensators C_V über den Widerstand R_V (vergl. Bild 5). Die am Kondensator wirksame exponentiell abfallende Spannung reduziert die Kontaktbelastung bei vernachlässigter Flussspannung der Diode auf Spannungswerte kleiner E . Diese Tatsache kann dahingehend genutzt werden, dass in der Schaltung nach Bild 4 in Reihe zur Freilaufdiode D ein Widerstand R_D (Bild 3) zur Beschleunigung des kontrollierten Abbaus der gespeicherten magnetischen Energie und damit zur Reduzierung der Abfallzeit eines Relais angeordnet wird. Soll am sich öffnenden Kontakt bzw. an einem elektronischen Schalter bei Vernachlässigung der Flussspannung an der Diode die Sperrbelastung maximal in Höhe der Betriebsspannung liegen, so

Anzeige

Schutzanlagen fachgerecht errichten und betreiben

TIPP



Doemeland, **Handbuch Schutztechnik**, 8., überarb. Aufl. 2007, 440 S., 300 Abb., Hardcover, Bestell-Nr. 3-341-01520-9, € 58,00

Das Standardwerk zur Schutztechnik

- Geräte zur Messwerterfassung (Wandler)
- Messgrößenverarbeitung (analoge und digitale Schutzsysteme)
- Steuer- und Meldestromkreise
- Schutzsysteme für Motoren, Transformatoren, Leitungen und Generatoren
- Schutzsysteme für weitere Betriebsmittel
- Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Brandschutz
- Messen und Prüfen, Nachweis der Prüfungen
- Statistik in der Schutztechnik und Tendenzen

Aktuell in dieser Auflage:

- neue Erkenntnisse im Bereich der niederohmigen Sternpunktbehandlung in Kabelnetzen
- Generatorschutz in „NOSPE-Netzen“
- aktuelle Ausführungen zur Anbindung alternativer Energien
- neue Messverfahren und aktuelle Messergebnisse.

huss shop
HUSS-MEDIEN GmbH
 10400 Berlin

Direkt-Bestell-Service:
 Tel. 030 42151-325 · Fax 030 42151-468
 E-Mail: bestellung@huss-shop.de
www.huss-shop.de

Jetzt bestellen!

Ich bestelle zur Lieferung gegen Rechnung zzgl. Versandkosten zu den mir bekannten Geschäftsbedingungen beim

huss-shop
HUSS-MEDIEN GmbH
 10400 Berlin

KUNDEN-NR. (siehe Adressaufkleber oder letzte Warenrechnung)

Expl.	Bestell-Nr.	Autor/Title	€/Stück
	3-341-01520-9	Doemeland, Handbuch Schutztechnik	58,00

Firma/Name, Vorname _____

Branche/Position _____ z. Hd. _____

Telefon _____ Fax _____

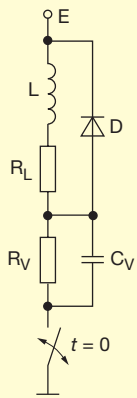
E-Mail _____

Straße, Nr. _____ Postfach _____

Land/PLZ/Ort _____

Datum _____ Unterschrift _____ 1008 ep

Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten



5 Prinzip zur Entladung eines Kondensators

4 Schaltung zum Ein- und Ausschalten von Spulen mit Freilaufdiode plus RC-Kombination

muss bei $t = 0$ die notwendige Bedingung

$$R_D \leq R_V \quad (7)$$

eingehalten werden (R_D entsprechend Bild 3). Im weiteren Verlauf der beiden Zeitvorgänge ist es dann möglich, dass je nach den wirksamen Zeitkonstanten die Spannung am offenen Kontakt bzw. am gesperrten elektronischen Schalter den Wert E über- bzw. unterschreitet, bevor letztlich der stationäre Endwert $U_{k(\infty)} = E$ erreicht wird. Um ein zeitweises Überschreiten des Wertes E durch die Kontakt- bzw. Schalterspannung auszuschließen, muss weiterhin

$$\tau_{L1} \leq \tau_{CV} \quad (8)$$

bzw.

$$\frac{L}{R_L + R_D} \leq C_V \cdot R_V \quad (9)$$

als hinreichende Bedingung eingehalten werden. Das heißt, der Spulenstrom zur Abmagnetisierung der Induktivität muss rascher abfallen als die Spannung am Kondensator. Bei Gültigkeit der Gleichheitszeichen (in der Praxis aufgrund von Bauelementtoleranzen schwer zu realisieren) in den Gleichungen (7), (8) bzw. (9) steht mit dem Öffnen des Kontaktes bereits die Spannung $U_{k(\infty)} = E$ an.

Kondensator C_V

Die bisherigen Erläuterungen lassen vermuten, dass eine möglichst große Kapazität C_V günstig sein könnte. Das trifft jedoch nur für Schaltvorgänge mit geringer Schalthäufigkeit (vergleichsweise lange Pausen zwischen zwei Schaltvorgängen) bedingt zu. Sowohl beim Start eines Ein- als auch eines Ausschaltvorganges sollten die Umladevorgänge am

Kondensator C_V abgeklungen sein, um die erläuterten Effekte in der Praxis auch zu erreichen. Des Weiteren würde eine überdimensionierte Kapazität C_V den Schalter beim Einschalten unnötig strommäßig belasten. Für die Realisierung einer Schaltung nach Bild 4, eventuell in Kombination mit einem Widerstand R_D entsprechend Bild 3 oder auch anderen in der Schaltungspraxis üblichen Freilaufeinrichtungen, sind folglich stets geeignete Kompromisse anhand konkreter Erfordernisse (z. B. Schalthäufigkeit und notwendige Schaltgeschwindigkeit eines elektromagnetischen Relais) zu suchen und umzusetzen.

Schlussbemerkung

Mit den Darlegungen zu einfachen Schaltvorgängen in elektrischen Netzwerken sind – ausgehend von grundlegenden Gegebenheiten und Zusammenhängen – wesentliche Schritte zur Analyse und Bewertung von Schaltvorgängen anhand einfacher praktischer Beispiele erläutert worden. Das ermöglicht auch das Verständnis des Betriebsverhaltens einer Vielzahl weiterer in der Praxis genutzter Varianten zum kontrollierten Abbau von in induktiven Einrichtungen gespeicherter magnetischer Energie, ohne dass diese hier im Einzelnen erwähnt werden konnten.

Literatur

- [1] Graichen, G.: Meisterwissen: Einfache Schaltvorgänge in elektrischen Netzwerken; Teil 1: Grundwissen zu Spule und Kondensator. Elektropraktiker Berlin 64(2010)7, S. 581–582.