

Transformatoren ohne Stromstoß einschalten

Sanfter Start

Unter bestimmten Voraussetzungen entsteht beim Einschalten eines Transformators ein großer Einschaltstromstoß, bedingt durch Sättigungseffekte im Eisenkern. Spezielle Trafotypen reduzieren den Effekt etwas, doch nur mit einer elektronischen Ansteuerschaltung wie z.B. einem Transformator-Schaltrelais lässt sich dieser Stromstoß vollständig vermeiden.

Zunächst scheint das Auftreten eines Stromstoßes im Zusammenhang mit einer Induktivität eher unwahrscheinlich, lernt doch jeder Ingenieur, dass Induktivitäten bei Schaltvorgängen den Strom stabil halten, und vielmehr die Spannung springt. Die Ursache für den Stromstoß liegt in der Remanenz der Induktion »B« im Eisenkern begründet – dem magnetischen Gedächtnis. Diese Remanenz bleibt, wie der Name schon sagt, nach dem Ausschalten erhalten. In der Hysteresekurve im Bild im nebenstehenden Kasten ist die Remanenz markiert.

Die Polarität der Remanenz ist abhängig von der Polarität der letzten Spannungs-Halbwelle vor dem Ausschalten. Hat beim Einschalten des Trafos die Netzspannungshalbwelle, mit welcher der Einschaltvorgang beginnt, die gleiche Polarität wie die Remanenz, so entsteht wegen der dann eintretenden Eisensättigung ein großer Einschaltstromstoß in der

Wicklung. Der Grund: Das Eisen im Trafokern wird weiter in die selbe Richtung wie zuvor magnetisiert, es lässt sich jedoch nicht weiter als bis zur Sättigung »um-magnetisieren«. Damit verliert der Trafo seinen induktiven Widerstand, der nur durch das »Um-Magnetisieren« des Eisenkernes entsteht.

Die Magnetisierung im Eisenkern wird durch die Größe der Spannungszeitfläche unter der Sinusspannungs-Halbwelle ständig im Takt der Frequenz der Wechselspannung von Minus nach Plus und umgekehrt transportiert und läuft dabei auf der Hysteresekurve bis zu den Betriebs-Wendepunkten, welche auch den typischen Leerlaufstromspitzen des Trafos entsprechen. Die Feldstärke »H« ist proportional dem Strom, der in den Trafo hineinfließt.

Nur der Kupferwiderstand begrenzt den Strom

Der Strom, der in den Trafo hineinfließt, wird im Fall der Eisensättigung nur durch den Kupferwiderstand der Primärwicklung plus dem Kupferwiderstand der Netzzuleitung begrenzt. Der Primärspulen-

Kupferwiderstand ist bei verlustarmen Trafos besonders klein, deren Einschaltstromstoß ist infolgedessen besonders hoch (Bisher ist dies einer der Hinderungsgründe, Trafos verlustarm zu bauen). Trafos mit geringen Luftspalten und damit geringen Eisenverlusten haben eine besonders hohe Remanenzinduktion im Eisenkern. So bringt zum Beispiel die Luftspaltfreiheit beim Ringkerntrafo solche Voraussetzungen mit sich. Damit wird der Einfluss der Trafo-Bauart ersichtlich: Je höher die Induktion im Eisen von Transformatoren ist, je kleiner der Restluftspalt ist und je geringer die primärseitigen Kupferverluste sind (alles zusammen für einen guten Trafo wünschenswert), desto höher wird der Einschaltstromstoß. Er steigt dann während einer Netzspannungshalbwelle bis zu dem 50-fachen Nennstrom (siehe rechtes Diagramm im Bild im Kasten). Dies kommt einem Kurzschluss gleich und ist alleine mit trägen Sicherungen beim Nennstromsicherungswert nicht mehr zu beherrschen.

Der hohe Einschaltstromstoß bringt beim Einsatz von Transformatoren einige Nachteile mit sich. So müssen bisher in der Trafo-Auslegung technische Kompromisse eingegangen werden, um den Einschaltstromstoß durch konstruktive Maßnahmen zu verringern. Eine Absicherung des Trafos alleine auf der Primärseite genügt meistens nicht, weil diese wegen des Einschaltstromstoßes sehr träge ausgelegt sein muss und deshalb den Trafo nicht vor einer sekundärseitigen Überlast schützt. Als Folge wird meistens auf der Sekundärseite zusätzlich gegen Überlast abgesichert. Entstehen im Trafo selbst Fehler, so kann es wegen der zu großen und zu trägen Absicherung auf der Primärseite

immer noch zu Trafobränden kommen. Schließlich entsteht an einem nicht vermaschten Netzausläufer (lange Leitung weit entfernt von der Einspeisung) aufgrund des Stromstoßes ein Spannungseinbruch, welcher andere Stromnetzteilnehmer störend beeinflusst.

Auf die Trafobauform kommt's an

Die momentan häufig angebotenen Trafos mit »geschweißtem Eisenkern« haben einen größeren Restluftspalt als Trafos mit wechselseitig geschachtelten Kernen, mit Kernen mit verteiltem Luftspalt oder mit Ringkernen. Die geschweißten Trafos müssen bei gleicher Leistung größer bauen und haben trotzdem einen schlechteren Wirkungsgrad als z.B. geschachtelte oder Ringkern-Trafos. Zwar sind die Einschaltströme bei Trafos mit geschweißten Kernen geringer, betragen aber immer noch bis zum 15-fachen des Nennstroms, was träge Sicherungen gerade noch aushalten.

Wenn es gelänge, den Einschaltstromstoß für immer zu vermeiden, ließen sich ohne Nachteile verlustärmere und kleinere Transformatoren bauen, deren Vorteile nutzen und Kosten einsparen. Diese Bauelemente sind verfügbar und haben Ringkerne oder zusammensteckbare Kerne mit verteilten Luftspalten. Sie sparen gegenüber einer Ausführung mit einem geschweißten E-I-Kern bis zu 40% des Trafogewichtes ein. Ringkerne haben zum Teil Nachteile was deren Wickelbarkeit betrifft, Trafos mit geschachtelten Kernen oder Trafos mit Kernen mit verteilten Luftspalten sind hingegen genauso gut wickelbar wie die geschweißten Varianten. Um diese Transformatoren sicher betreiben zu können,

Michael Konstanzer
ist Inhaber des Ingenieurbüros
Emeko

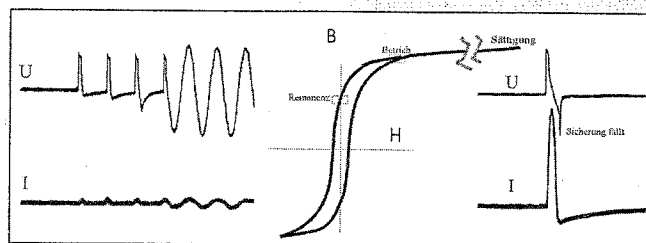
www.emeko.de

bedarf es jedoch eines elektronischen Trafo-Schalters, der den Einschaltstromstoß verhindert. Dann kann die primärseitige Absicherung flink auf Nennstrom ausgelegt werden, und der Trafo lässt sich verlustarm und hart und trotzdem eine Baugröße kleiner auslegen. Das heißt, dass seine Sekundärspannung bei Belastung kaum einbricht. Außerdem kann der Entwickler auf die sekundärseitige Absicherung verzichten, weil sich das Bauelement schon primärseitig richtig absichern lässt. Gegenüber der bisherigen Schaltung mit einem Motorschutzschalter, einem weichen und größeren Trafo sowie einer zusätzliche Sekundärsicherung (weil die zu träge Primärabsicherung nicht vor Überlastung schützen kann und meist zu hoch eingestellt ist) sind die Kosten für diesen Ansatz nicht höher.

Soll ein Trafo öfter geschaltet werden, z.B. in Anwendungen für elektrische Heizungen, so kann außerdem der Schaltschutz auf der Primärseite entfallen, weil das elektronische Trafo-Schalt-Relais (TSR) selbst ein

Schalter ist, der den Einschaltstromstoß vermeidet. Damit lassen sich weitere Kosten einsparen. Transformator-Schalt-Relais vom Typ TSR schalten jeden Typ von Trafo nach einem patentierten Verfahren ein (siehe Bild im Kasten, oben links). Die TSR sind besondere elektronische Halbleiterrelais und schalten mit robusten Thyristoren, welche anschließend von Relais gebrückt werden.

Vormagnetisieren killt den Peak



Dieses Bild zeigt zwei verschiedene Einschaltvorgänge: Links ohne Einschaltstromstoß, nach Fraunhofer Patent eingeschaltet, rechts mit Einschaltstromstoß, direkt eingeschaltet. In der Mitte ist die Hysteresekurve im Kern zu sehen. Das Einschalten nach dem Fraunhofer-Patent geschieht wie folgt: Mit dem Trafo-Schalt-Relais TRS wird der Transformator vormagnetisiert und dadurch die Remanenz beeinflusst. Anschließend erfolgt das Volleinschalten ohne Einschaltstromstoß nur mit dem Nenn- oder Leerlaufstrom. Dagegen wird beim direkten Einschalten in Richtung der Polarität der Remanenz von einem 1,2-kVA-Trafo ein Einschaltstromstoß mit einem Spitzenwert von 200 A erzeugt.

Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Vermeidung der Nachteile bisher eingesetzter Einschaltstrom-Begrenzer wie z.B. die Notwendigkeit einer Pausenzeit zwischen den einzelnen Einschaltungen, individuelle Anpassung, keine Kurzschlussfestigkeit, zusätzliche Schalter, usw;

- Die primärseitige Absicherung kann sogar mit flin-

ken Leitungs-Schutzschaltern als R-, Z-, B-Typ oder mit flinken Schmelzsicherungen g/R erfolgen;

- Die TSR sind über einen Steuereingang wie ein Relais schaltbar;
- TSR sind beliebig oft hintereinander ohne Wartezeit schaltbar;
- Hohe Lebensdauer der TSR durch verschleißfreies Schalten der Brückrelais: >5 Mio. Schaltungen;
- TSR sind auch mit Kühlkörper für das permanente Takten von Trafos erhältlich;
- TSR sind bei richtiger Absicherung kurzschluss- und überlastfest;
- Das TSR-Einschaltverfahren arbeitet auch bei Ringkerntrafos absolut lastunabhängig;
- Eine optionale »Halbwelenausfall-Erkennung« vermeidet das Entstehen von Stromstößen nach Netzhalbwellen-Ausfällen;
- Auch für 32 A und größere Ströme und bis zu 500V Netzspannung sowie für Drehstromtrafos sind TSR lieferbar. (cg)

FSM Elektronik/Emeko
Telefon 07 61/44 18 03
Fax 07 61/44 18 88

www.emeko.de