

Gefährdung von Steuerungssystemen und Anlagen durch Unterspannung

Klaus Padberg, Comat AG, CH-3076 Worb

Über- und Unterspannungen sind immer wieder auftretende Netzfehler. Interessant ist die Aussage, dass 85% der Netzstörungen Unterspannungsprobleme sind. Dagegen sind nur ca. 1% der Störungen auf Überspannungen zurückzuführen*. Allgemein ist bekannt, dass eine Anlage gegen Überspannung geschützt werden muss, da sonst Schädigungen zu erwarten sind. Weniger klar ist, dass auch Unterspannungen zu Fehlfunktionen oder auch grösseren Schäden, z.B. an Schützen, Ventilen und Motoren führen können.

Dass Überspannungen zu Fehlfunktionen und in der Folge zu Schäden führen ist klar. Es gibt im wesentlichen 2 Gründe:

- ◆ Kurzzeitige Überspannung führt zu Schäden an der Isolation, insbesondere bei Halbleitern innert μs zu irreparablen Durchbrüchen.
- ◆ Mittel- bis langzeitige Überspannungen - auch kleinere - haben thermische Überlastungen zur Folge und führen im harmlosesten Fall zu verringerter Lebenserwartung.

Es ist nun oberflächlich gesehen verblüffend festzustellen, dass ähnliche Probleme thermischer Art auch bei Netzunterspannungen auftreten können. Dazu kommen Probleme infolge undefinierter Funktion und im Bereich der EMV.

Fehlermechanismus bei Netzunterspannung:

Kurzzeitige Unterspannungen im Bereich 1 - 2 Halbwellen (10 - 20 ms) sollten ohne Einfluss bleiben, darüber hinaus führen diese zu Fehlfunktionen, indem z.B. einzelne Relais, Schütze, usw. "flattern" oder ganz abfallen.

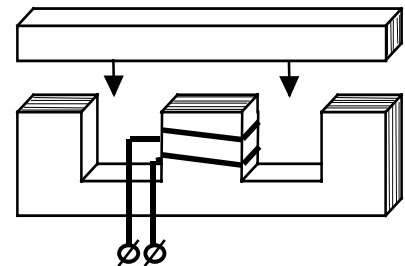
Längerfristige Unterspannungen, wie sie durch Regelfehler, Überlast oder durch Fehler (z. B. Neutralleiterunterbruch) im Netz auftreten, können ebenso thermische Überlastungen, Fehlfunktionen und Zerstörung zur Folge haben. Dies ist besonders bekannt bei elektromagnetischen Lasten wie Schütze und Motoren.

Wieso bei Schützen.?

Im Ruhezustand eines Schützes ist der magnetische Kreis nicht geschlossen., d.h. die Induktivität der Spule ist sehr klein. Kann der Schütz "anziehen", wird der magnetische Kreis geschlossen.

Die Induktivität des Antriebes ist nun gegenüber dem ohmschen Anteil gross und damit Impedanz- und Strom bestimmend.

Aus den beiliegenden Diagrammen lässt sich erkennen, dass der Strom vor dem Anziehen bis ca. 8 x höher ist als bei Nennspannung. D.h. dass die **Spulenverluste über 60 x grösser** sein können als im "Normalbetrieb".



Die Untersuchungen zeigen, dass es im allgemeinen um so drastischer wird, je grösser und leistungsfähiger der magnetische Kreis ist. Interessant ist, dass schon bei weniger als $\frac{1}{3}$ der Nennspannung eine Überlastung eintritt, dagegen bedeutet ein versehentlicher Anschluss eines Gerätes für 230V Nennspannung an 400V "nur" eine 3-fache Überlastung.

Da lässt sich wohl ahnen, wie lange eine solche Spule bei Unterspannung durchhält

Abgesehen davon kann es in der Zone 2 der Diagramme , wo der flachere Stromanstieg auf einen teilweisen Anzug (die Kontakte schwingen oder liegen an, ohne grösseren Kontaktdruck) hinweist, zu Funktionsstörung oder sogar Kontaktlichtbogen kommen, Störungen im Bereich EMV, Kontaktabbbrand sind die Folge.

* Quelle Bericht Captiva GmbH / BKW

Schützensteuerung mit Normalspannung

Zum Vergleich ist nachfolgend der Stromverlauf in der Spule eines Schütz Typ C3A23-10 /AC230V bei Nennspannung angezeigt.

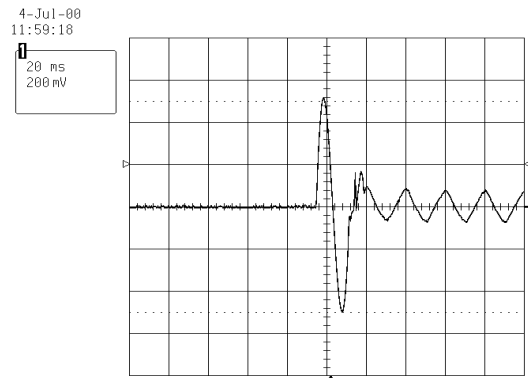
Daraus lässt sich ableiten, dass ein Einschaltstrom unter Normalbedingungen im Bereich von

$$I_{\text{Einschalt}} = 5 \dots 10 \times I_{\text{Nenn}}$$

zu erwarten ist.

Allerdings ist der Einschaltstrom schon nach ca. drei Halbwellen, also nach 30ms abgeklungen.

Damit ist der Einschaltstrom normalerweise thermisch ohne Bedeutung, muss aber bei der Ansteuerung zur Bemessung von Halbleiterschaltern und Kontakten berücksichtigt werden.



Masstab: 20ms / 200mA

Was passiert bei Motoren ?

Bei Motoren, insbesondere Asynchronmotoren, mit relativ schweren Anlauf, kann es bei Unterspannung zur Überlastung kommen, indem der Motor nicht drehen kann, da bei Unterspannung das Anlaufdrehmoment nicht erreicht wird. Das heisst, der Motor verhält sich wie ein sekundär kurzgeschlossener Transformator. Betreffend "Normaleinschaltung" verhalten sich Motoren ähnlich wie Schütze, jedoch ist die Einschaltphase auf Grund der mechanischen Trägheit bedeutend länger, d.h. im Bereich von Sekunden.

Andere elektromagnetische Verbraucher:

Besonders gefährdet sind auch Magnetventile. Es existieren Anordnungen, bei denen nach dem Anziehen auf Halten umgeschaltet wird, d.h. auf einen hochohmigeren Kreis oder eben wie bei den Schützen, durch Veränderung des magnetischen Kreises. Nun sind aber die Einschaltstromkreise im allgemeinen nicht für den Dauerbetrieb ausgelegt, auch fehlt aus Kostengründen meist eine Thermoschutzschaltung (PTC).

Diese Betrachtungen sind vereinfacht und nehmen keine Rücksicht auf Nichtlinearitäten oder sich verändernde Eigenschaften durch die Über- oder Unterspannung oder die Erwärmung.

Konsequenz

Die Konsequenz aus diesen Tatsachen ist aber wohl, dass bei schützenswerten Einrichtungen neben dem Überspannungsschutz (Transienten und länger andauernde Überspannungen) ein **Unterspannungsschutz nicht fehlen sollte**, indem bei unterschreiten einer Minimalspannung abgeschaltet wird, wobei die Spannung (z.B. -40% ÷ -10%) und die Reaktionszeiten (z.B. 1 ÷ 60s) sinnvoll einstellbar sein müssen.

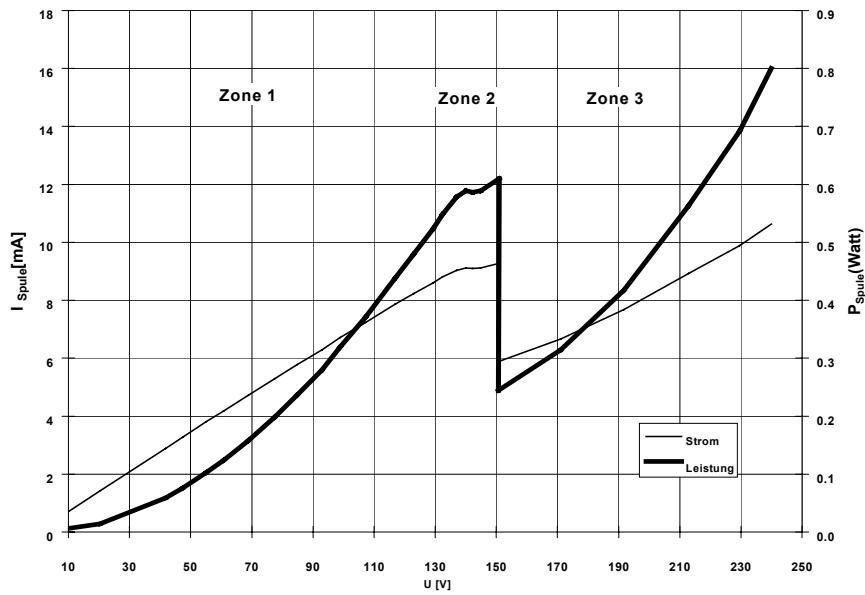
Anmerkungen zu den nachfolgenden Diagrammen:

Diagramm 1 (C3-A30: ein 3pol. 10A Industrirelais) zeigt den typischen Stromverlauf in der Antriebsspule eines Industrirelais in Abhängigkeit von der Antriebsspannung. Im Gegensatz zu dem Stromverlauf bei den Schützen sinkt der Strom nach dem Anziehen des Ankers viel weniger ab. Dies lässt auf einen relativ schlechten magnetischen Kreis schliessen. Man erkennt auch, dass der Strom bei keiner Unterspannung höher ist als bei Nennspannung 230V. Das bedeutet, dass eine Gefährdung nur durch den undefinierten Kontaktzustand in Zone 2 auftritt.

Die Diagramme für die Schütze (CA2: ein Hilfsschütz, CA2: ein Leistungsschütz bis 40A) zeigen wesentlich höhere Ströme bei Unterspannung vor dem Anziehen des Ankers als im Betriebszustand bei Nennspannung, 230V. Hier treten also 2 zerstörerische Effekte auf, einmal das thermische Problem, verursacht durch den bis zu ca. 8-fach höheren Spulenstrom bei Unterspannung und des weiteren in Zone 2 durch den undefinierten Schaltzustand der Kontakte, was zu Fehlfunktionen in der Steuerung oder bei der Schaltung grösserer Leistungen (wozu ja Schütze eigentlich eingesetzt werden) zu Problemen durch Lichtbogen und Überhitzung an den Kontakten führt.

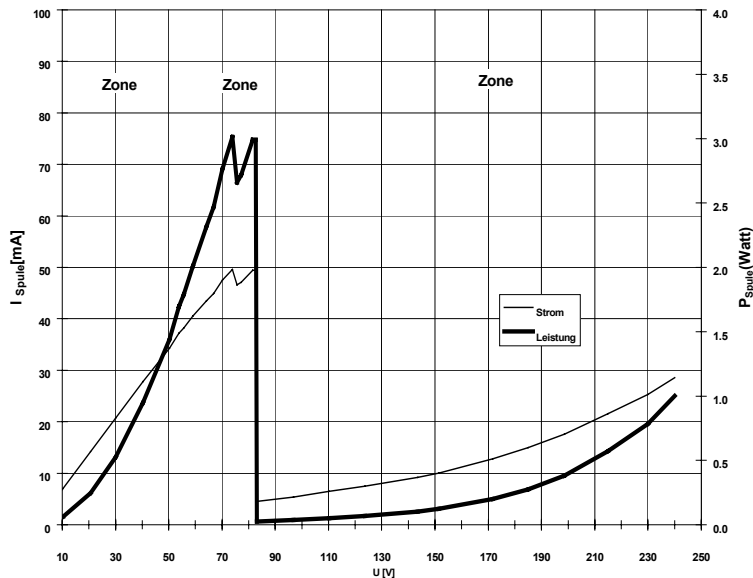
Kurven sowie Messwerte gelten für Umgebungstemperaturen $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$

Strom und Leistung einer Industrirelaisspule C3-A30 als Funktion der Antriebsspannung
Gerätetyp: Industrirelais, 11 polig steckbar für 10A, 400V



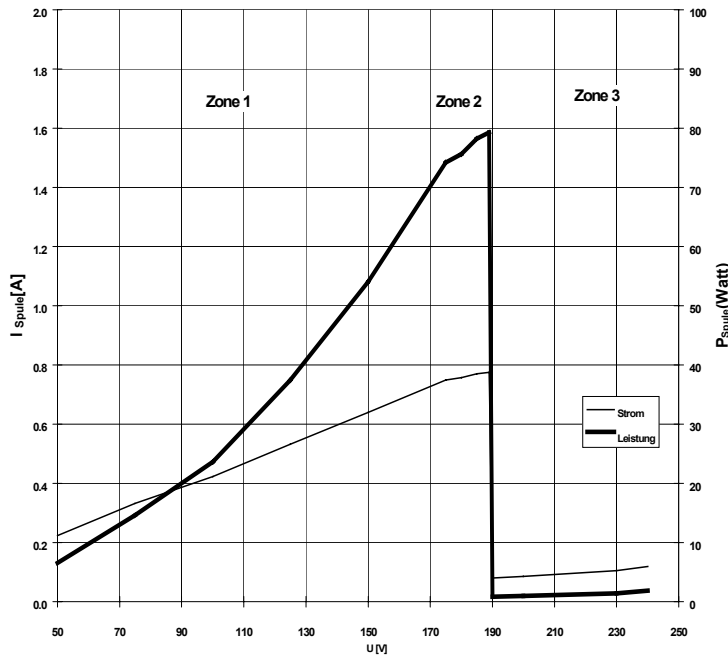
Anzugsspannung 152VAC	Rückfallspannung 136 VAC
-----------------------	--------------------------

Strom und Leistung eines Schützenantriebes CA2-EN 131 als Funktion der Antriebsspannung
Gerätetyp: Hilfsschutz mit 4 Kontakten



Anzugsspannung 84VAC	Rückfallspannung 55VAC
----------------------	------------------------

Strom und Leistung eines Schützenantriebes CA1-25 als Funktion der Antriebsspannung
Gerätetyp: Leistungsschütz 3 polig bis 40A, 600V und 4 Hilfskontakten



Anzugsspannung 190VAC	Rückfallspannung 130VAC
-----------------------	-------------------------

Schalten und Kontaktprellen eines Industrierelais C3-A30/AC 230V bei Unterspannung,

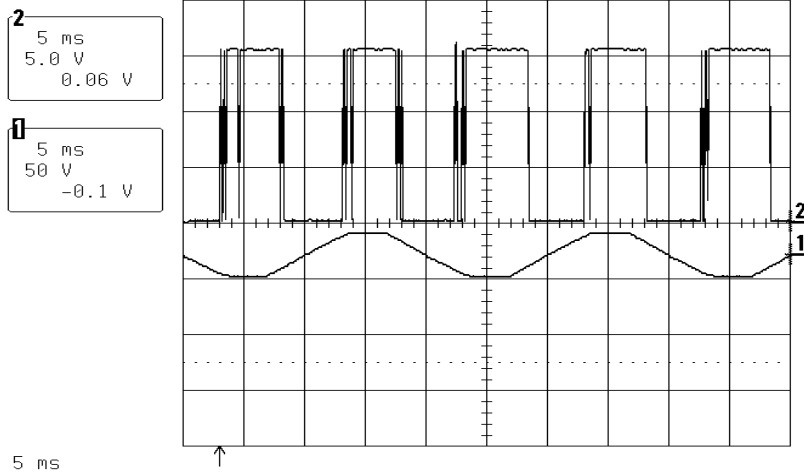
Das folgende Diagramm zeigt die andere nicht zu unterschätzende Gefahr bei Unterspannung. Es gibt einen Spannungsbereich in dem das AC Relais / Schütz mit den Sinusspitzen gerade noch anzieht, dazwischen aber wieder abfällt.

Das führt zusammen mit dem Prellen zu undefinierten Zuständen im System und zu zusätzlicher EMV Belastung.

Störerscheinungen und vorzeitiger Kontaktabbbrand sind die harmlosesten Folgen.

Das Diagramm zeigt die Schaltfunktion wurde im Bereich Zone 2 bei ca. 140V Speisung.

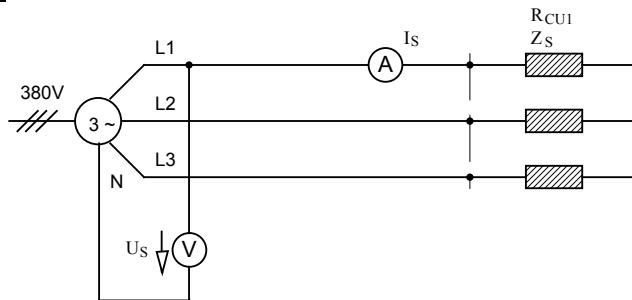
15-Jan-98
14:49:28



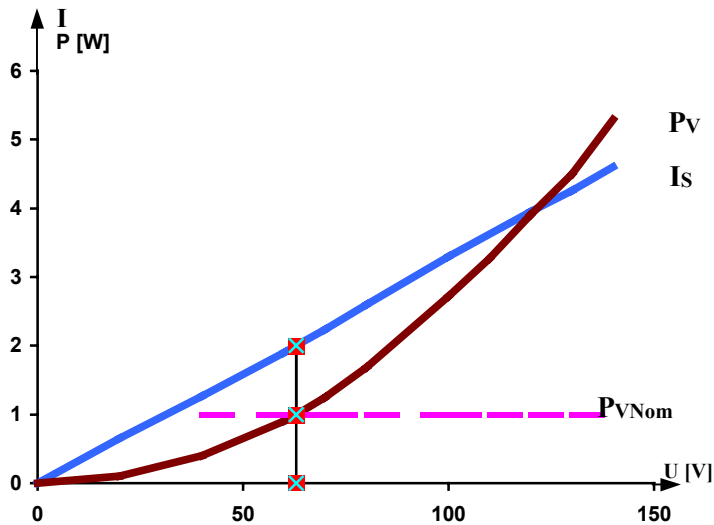
Messprotokoll zu Asynchronmotor an Unterspannung

Prüfling: ASM Fa. No. 94211, 1PS, 220/380V 3,4/2,0A Δ/Y/ 1400RPM

Messaufbau: Rotor blockiert



$$R_{CU1} \approx 0,9\Omega$$



Auswertung

Der lineare Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ist plausibel, da sich der ASM (mit blockiertem Rotor, $n=0$) wie ein sekundär kurzgeschlossener Transformator verhält.

Die Messungen zeigen, dass der Nennstrom schon bei 63V überschritten wird.

Die $I^2 \cdot R_{CU1}$ - Verluste erwärmen die Statorwicklung sehr schnell, da die Eigenbelüftung und damit die Kühlung bei stehendem Motor fehlt. Die Wicklung wird sehr bald beschädigt sein.

Auch hier wird gelten, dass bei grösseren Motoren mit kleinerem $\cos \varphi$ die Verhältnisse extremer werden.