

Sanfteinschalter für kapazitive Lasten, beschrieben am Beispiel als Einschaltstromdämpfung für Schaltnetzteile.

Nicht nur Netzteile mit 50 Hz Transformatoren sondern auch so genannte **Schaltnetzteile** verursachen große Einschaltstromstöße, welche die Absicherung auslösen können. Wobei hier die Ursache eine gänzlich andere ist als bei Transformatoren.

Bild 1 von einem typischen Schaltnetzteil als Stromversorgung für einen Laptop.

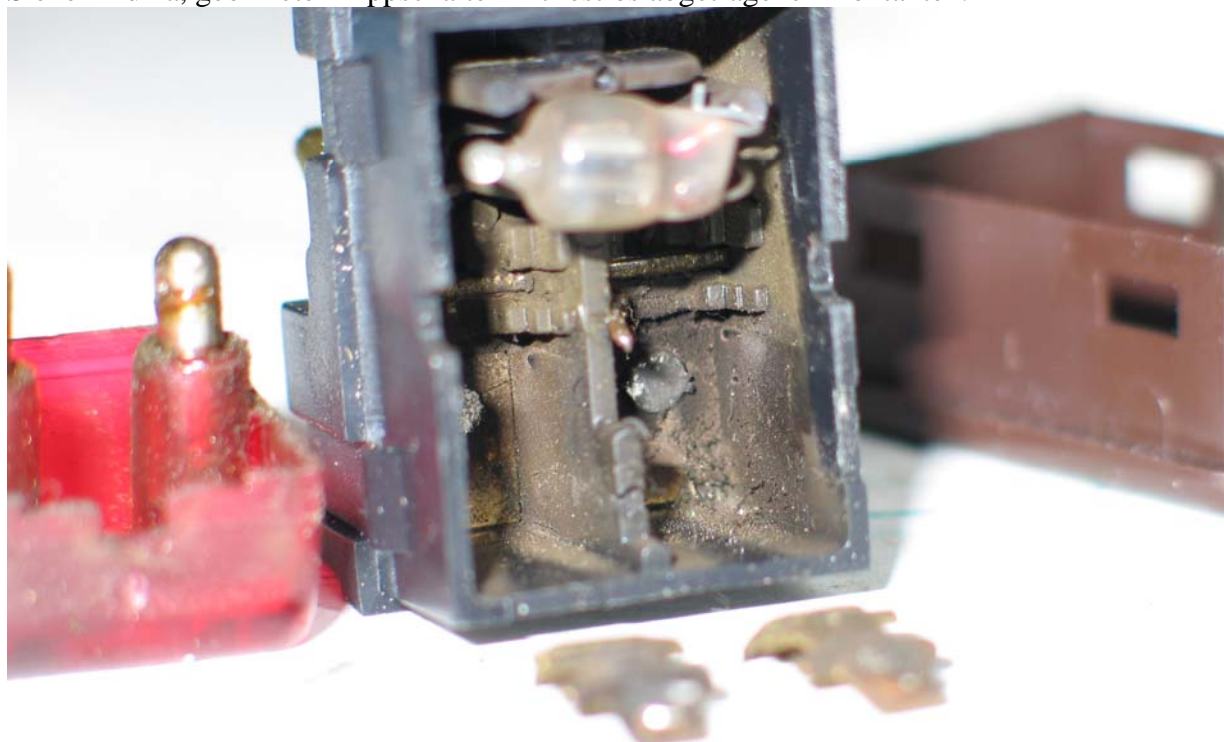


Schaltnetzteile, auch Power Adapter genannt, werden zum Beispiel für Laptops oder andere Geräte inzwischen vielfach in Büros und auch im Heimsektor verwendet. Diese Schaltnetzteile erzeugen beim Netz-Einschalten einen Einschalt-Stromstoß der die Absicherung der Netz-Steckdosen auslösen kann.

Meist werden mehrere solcher Schaltnetzteile miteinander eingeschaltet, was den Stromstoß noch vergrößert.

Da solche Schaltnetzteile wie in Bild 1 abgebildet, keinen eigenen Netzschalter haben, ist es aus Energiespargründen auf jeden Fall sinnvoll, sie mit dem Schalter einer Steckdosenleiste gemeinsam ein- und auszuschalten.

Der dabei entstehende Einschaltstromstoss führt dabei nicht selten zum Auslösen der Steckdosen Absicherung. Außerdem wird davon der Kippschalter in der Steckdosenleiste arg gestresst und geht schon nach weniger als einem Jahr mit verbrannten Kontakten defekt. Siehe Bild 1a, geöffneter Kippschalter mit restlos abgetragenen Kontakten.



Hängen auch noch andere Verbraucher an dem abgesicherten Stromkreis und werden dann durch das Sicherungsauslösen unverhofft stromlos, kann das teure oder zumindest ärgerliche Folgen haben. (Beim Verfasser lösen schon zwei zusammen eingeschaltete Netzteile regelmäßig die B16 Ampere Steckdosenabsicherung aus.)

Obwohl Schaltnetzteile meistens eine eigene Einschaltstromdämpfung eingebaut haben, die einen allzu großen Einschaltstrom verhindern soll, tritt dieses Phänomen immer dann auf wenn wie im obigen Beispiel, mehrere Netzteile miteinander eingeschaltet werden, weil sich dann die gleichzeitig auftretenden Einschaltströme addieren.

Auch Schaltnetzteile mit eingebauter Leistungsfaktor Korrektur ^{*1}, welche dafür sorgt, dass der aufgenommene Netzstrom sinusförmig verläuft, siehe Bild 3, zeigen beim Einschalten einen Einschaltstromstoß mit hoher Amplitude, siehe Bild 4. Die Leistungsfaktor Korrektur arbeitet nämlich erst im eingeschwungenen Zustand.

Aber auch Schaltnetzteile ohne Leistungsfaktor Korrektur erzeugen beim Einschalten Einschaltstromspitzen.

Schuld am Einschaltstromstoß ist der Siebkondensator nach dem Eingangsgleichrichter eines jeden Schaltnetzteils, der die gleichgerichtete und wellige Eingangsspannung glätten muss. Er wird beim Einschalten, vor allem wenn das zum Beispiel zufällig im Scheitel der Sinusförmigen Netzspannung stattfindet, über den Schalter schlagartig mit der hohen Netzspannung verbunden, was unweigerlich einen großen Strom in den Sieb-Kondensator verursacht. Dieser Strom fließt jedoch nur für die kurze Zeit von bis zu einer Millisekunde, siehe Bild 4, was jedoch zum ungewollten, flinken Auslösen der Absicherung genügt.

Eine einfache und wirkungsvolle Abhilfe bringt es, wenn man zwischen dem Einschalter und den Steckdosen der Steckerleiste, um beim oben genannten Beispiel zu bleiben, eine separate Einschaltstromdämpfung ein- oder anbaut. (Damit ausgerüstete Steckerleisten gibt es leider noch nicht zu kaufen.)

Einfache Einschaltstromdämpfungen, die aus einem Heißleiter oder anderen Vorwiderständen bestehen, sind jedoch nicht kurzschlussfest und nicht wirksam bei wiederholtem Einschalten. Wird dagegen als Einschaltstromdämpfung eine lastunabhängig arbeitende und sogar kurzschlussfeste, elektronische Einschaltstromdämpfung verwendet, lässt sich das Sicherungsauslösen beim Einschalten solcher Schaltnetzteile sicher vermeiden.

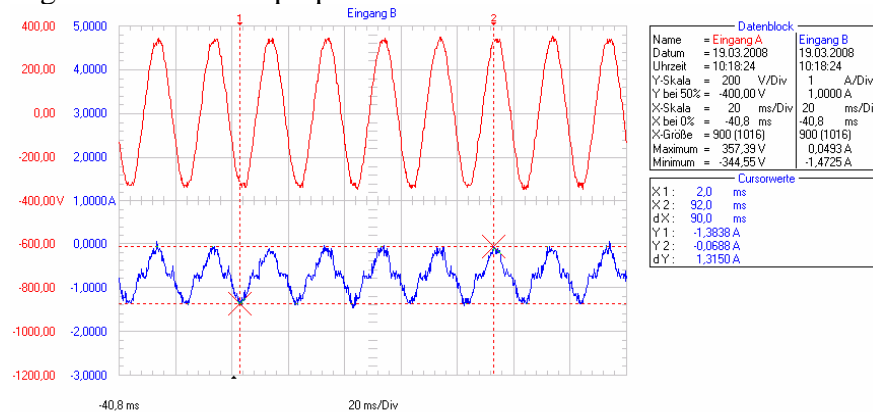
Bild 2 zeigt ein sogenanntes Trafoschaltrelais, was mit Gehäuse an die Steckerleiste angebaut, aber auch als Platine in die Steckerleiste eingebaut werden könnte.



Ein Trafoschaltrelais, TSRL 22100110, welches mit der Option „langsames Andimmen“ ausgerüstet ist, eignet sich gleichwohl zum sanften Einschalten von Transformatorenlasten oder Schaltnetzteilen. Ein Anwender dieser Trafoschaltrelais schaltet beispielsweise nachts über eine Schaltuhr bis zu 16 Laptopnetzteile zum Aufladen der Laptop Batterien gleichzeitig ein, ohne dass die gebäudeseitige B 16 A Absicherung dabei auslöst.

(Diese Laptopnetzteile sind heutzutage moderne Schaltnetzteile mit eingebauter Leistungsfaktor Korrektur, die den Strom **nicht** nur kurz vor dem Scheitel der Netzspannung aus dem Netz entnehmen, wie es im Bild 11 zu sehen ist, und damit Stromoberwellen erzeugen würden. Sie entnehmen den Strom aus dem Netz während der ganzen Halbwelle, siehe Bild 3. Solche Schaltnetzteile entsprechen damit dem modernsten Stand der Technik und den EMV Vorschriften in EN 61000-3-2.)

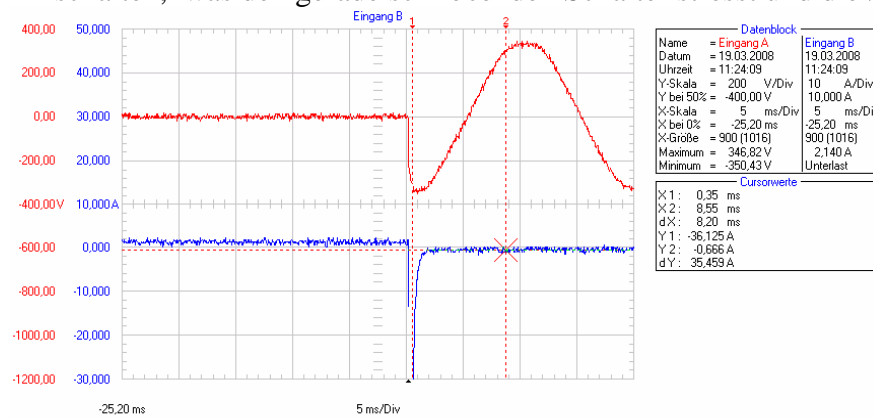
Bild 3 zeigt das Dauereingangsstromverhalten eines solchen Schaltnetzteils mit angeschlossenem Laptop.



TSRL-test-snt-4.bmp, wie B.1, Dauer ein mit Last

Die rote Kurve im Bild 3 oben, zeigt die Netzspannung und die blaue Kurve unten zeigt den fast sinusförmigen Eingangsstrom von ca. 1,3 A Spitze-Spitze unter Nennlastbedingungen. **So schön wie in Bild 3 sieht es jedoch beim Einschalten überhaupt nicht aus.**

Bild 4 zeigt den Eingangsstrom im Moment des Einschaltens des Schaltnetzteils, das mit einem mechanischen Kippschalter zufällig fast im Scheitel der Netzspannung eingeschaltet wurde. Hier sieht man einen erheblichen Einschaltstromstoß. Der hohe Strom fließt sofort beim Einschalten, was den gerade schließenden Schalter stresst und die Sicherung auslösen kann.



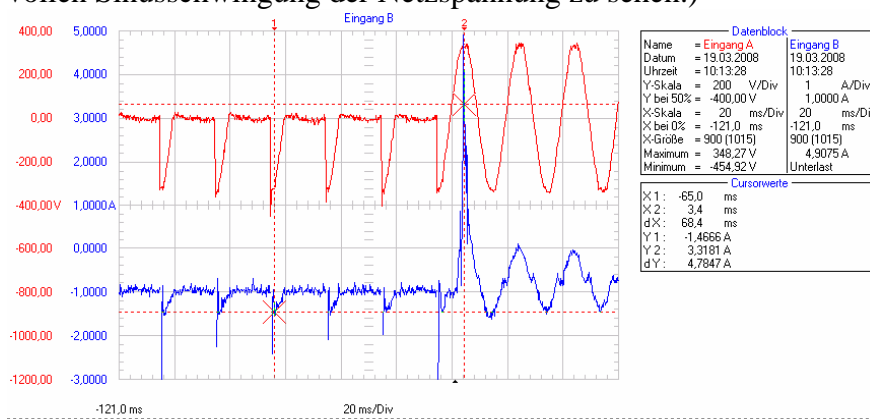
TSRL-test-snt-15.bmp, Siemens SNT direkt ein

Die Stromamplitude beträgt, mit der hier gewählten Darstellung von 10 A pro Kästchen, mehr als 50 A Spitze mit einer Dauer von cirka einer Millisekunde. Das würde schon bei 2 Stück solcher Netzteile den B16 A Automaten auslösen. Das Schnellauslösen des B-Typ 16 A Leitungsschutzschalters findet statt ab dem Effektiv Strom von 80 A. (In Büros und Haushalten sind die Steckdosen meistens mit 16 A B Automaten abgesichert.)

Bild 5. Ein Schaltnetzteil wird hier mit einem Trafoschaltrelais, TSRL 22100110, sanft eingeschaltet.

Die Messung zeigt das zunehmende Vorladen mit angeschnittenen Spannungsimpulsen und das Volleinschalten. Weil das Netzteil belastet ist muss nach dem Volleinschalten noch verstärkt nachgeladen werden, weshalb noch eine 3 A Spitze hohe Stromspitze entsteht. Die Spannungsimpulse steigen hier von kleinen Amplituden ausgehend, schrittweise bis zum

Scheitel der Netzspannung und laden somit den Siebgleichrichter Schritt für Schritt vollkommen auf, bevor voll eingeschaltet wird. (Das Volleinschalten ist mit dem Beginn der vollen Sinusschwingung der Netzspannung zu sehen.)



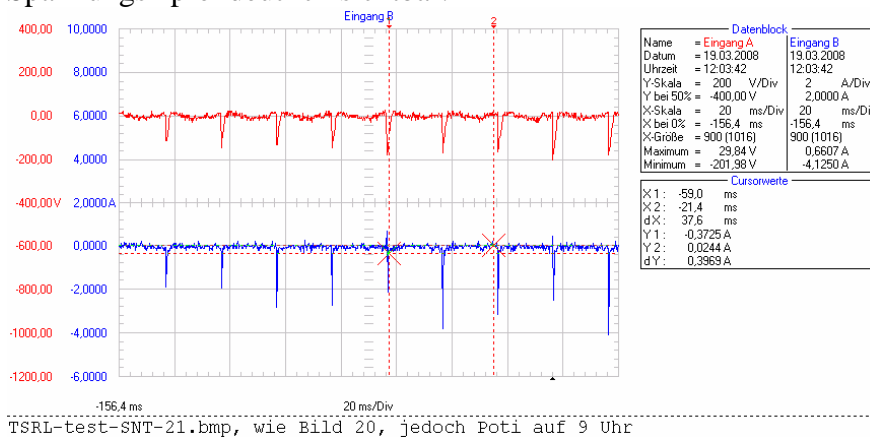
Das schrittweise Vorladen mit Spannungsabschnitten die langsam größer werden, lädt den Siebkondensator im Netzteil immer höher auf, wobei er jedes Mal einen kleinen Stromimpuls aus dem Netz entnimmt.

Die maximale Stromamplitude beim Volleinschalten beträgt bei der hier gewählten Darstellung von 1 A pro Kästchen ca. 3 A Spitze und ist oben schmaler als 1 Millisekunde nach dem Volleinschalten.

Auch wenn 16 Stück von solchen Netzteilen zusammen eingeschaltet würden, könnte dabei ein B16 Automat nicht auslösen.

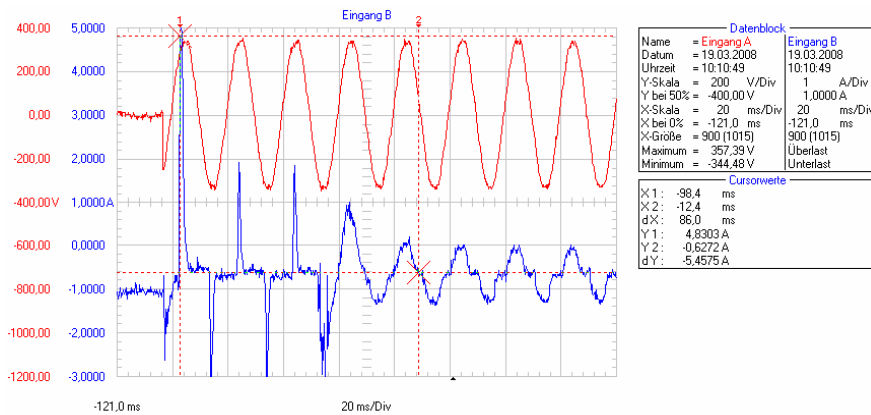
Man sieht im Bild 5 und 7, dass der Eingangsstrom nach der Vorladung des Spannungszwischenkreises auch nach dem Volleinschalten nicht gleich sondern erst später mit sinusförmigem Verlauf fließt.

Bild 6. Zeigt die Spannungsabschnitte am Beginn des Vorladens, also kurz nach dem Einschalten des Netzschalters vor dem TSRL. Hier ist das schrittweise Zunehmen der Spannungszipfel deutlich sichtbar.



Die größer werdenden Spannungsabschnitte verursachen auch hier jedes Mal nur einen kleinen Stromstoß von ca. 2 A Spitze bei 100 Mikrosekunden Dauer.

Bild 7. Wenn das TSRL auf eine kleinere Vorladeamplitude eingestellt ist, sichtbar an dem Spannungsabschnitt mit geringerer Amplitude vor dem Volleinschalten, hat die nötige Nachladung nach dem Volleinschalten eine länger dauernde Spitzenstrom Antwort zur Folge, bevor das Netzteil den Strom sinusförmig aus dem Netz entnimmt.

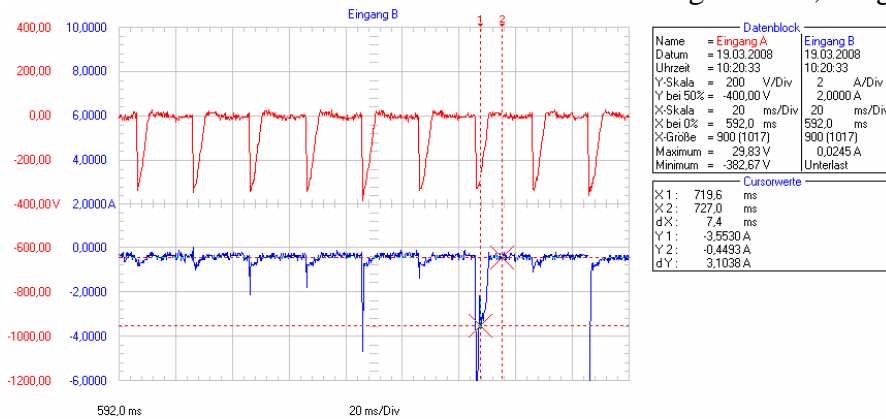


TSRL-test-snt-1.bmp, TSRL 22100310 auf Schaltnetzteil mit Last. A= Uan SN T-Eingang, B=Iin Eingang v. SNT. Gemessen an Siemens S26113-E518-V15, mit und ohne Ohmsche Last gemessen. SNT hat Powerfaktorkorrektur.

Es fließen jedoch nie mehr als effektiv 1,5A. Bei 16 Netzteilen sind das 19A effektiv was einen B16A Automaten niemals flink auslösen kann.

Ab hier folgen Messungen an einem älteren Schaltnetzteil welches noch keine Leistungsfaktorkorrektur eingebaut hat.

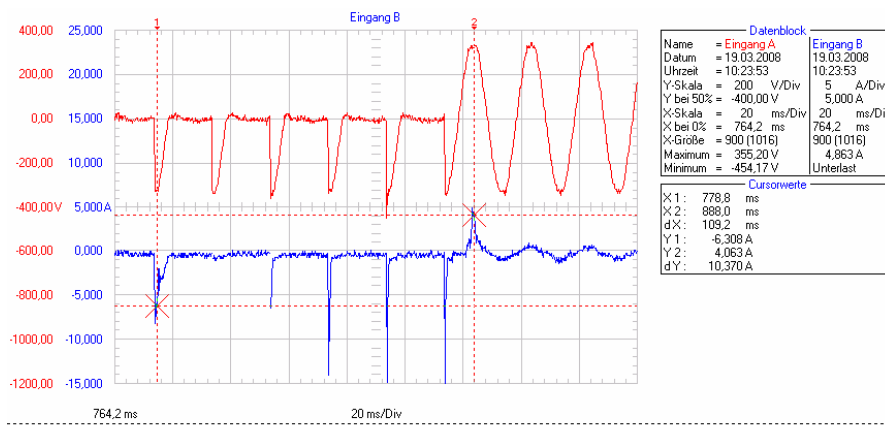
Bild 8. Die Messkurven sind während dem Vorladen gemessen, bei großer Vorladeamplitude.



TSRL-test-snt-5.bmp, bei andimmen mit Last

Es entsteht eine plötzliche Stromspitze von 3,5A Spitze, durch ein Eigenleben des Netzteils beim Vorladen. Sie ist aber auch nicht größer als die kleine Stromspitze kurz nach dem Volleinschalten im Bild 5.

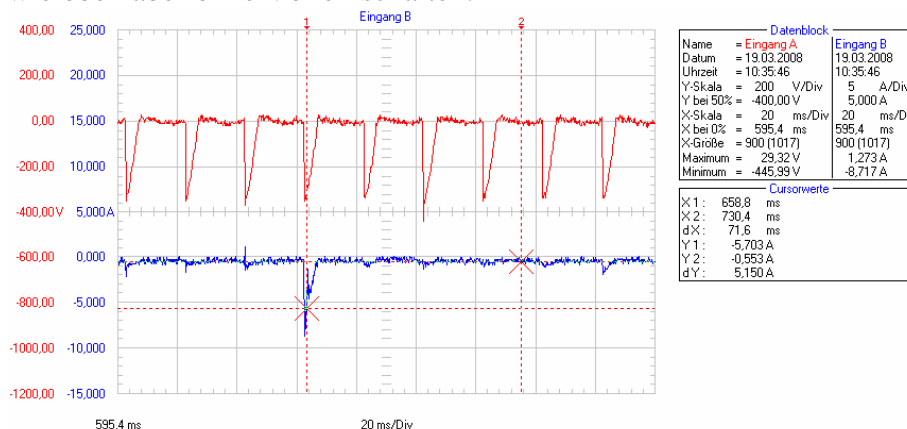
Bild 9. Messungen an Schaltnetzteil ohne Leistungsfaktorkorrektur. Schalt-Netzteil beim Andimmen mit Vorladung und beim Volleinschalten.



TSRL-test-snt-7.bmp, bei andimmen mit Last

Die Nadeln mit großer Amplitude auf den Strompulsen sind keine echten Ströme sondern EMV Störungen auf die Stromzange durch die Phasen-Anschnitte der Spannung.

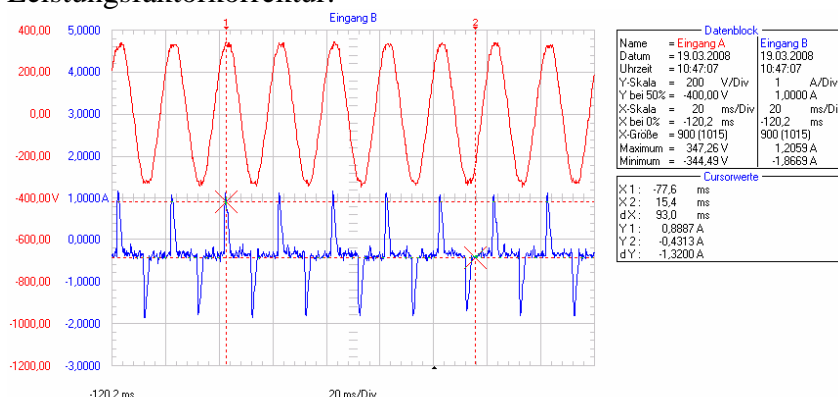
Bild 10, Messungen an Schaltnetzteil ohne Leistungsfaktorkorrektur. wie oben aber ohne Volleinschalten.



TSRL-test-snt-9.bmp, bei andimmen ohne Last

Plötzliche Stromspitze von 3,5A sp. beim Vorladen.

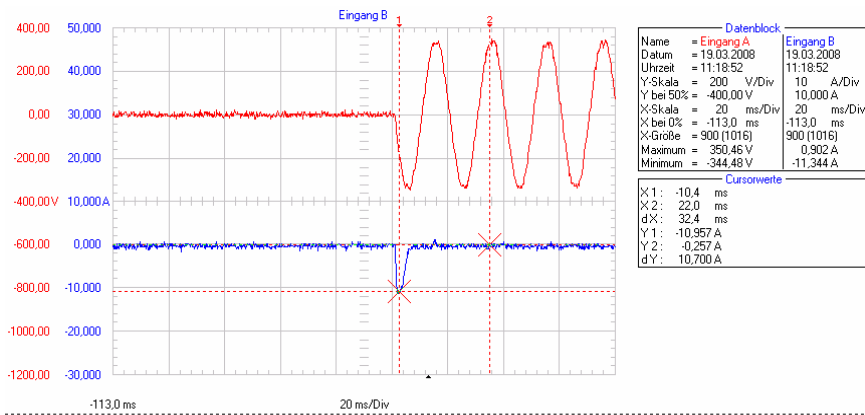
Bild 11. Dauerstrom am Eingang bei Last. Typisch kapazitives Verhalten von Netzteil ohne Leistungsfaktorkorrektur.



TSRL-test-snt-13.bmp, wie Bild 10 aber unter Last bei voll ein.

Die Stromentnahme geschieht nur im Scheitel der Netzspannung, was Strom-Oberwellen erzeugt.

Bild 12. Schaltnetzteil ohne Leistungsfaktorkorrektur mit mechanischem Schalter zufällig im Nulldurchgang, zu Beginn der negativen Netzhalbwellen eingeschaltet. (Im Scheitel eingeschaltet wäre die Stromspitze noch größer, wie es im nächsten Bild zu sehen ist.)

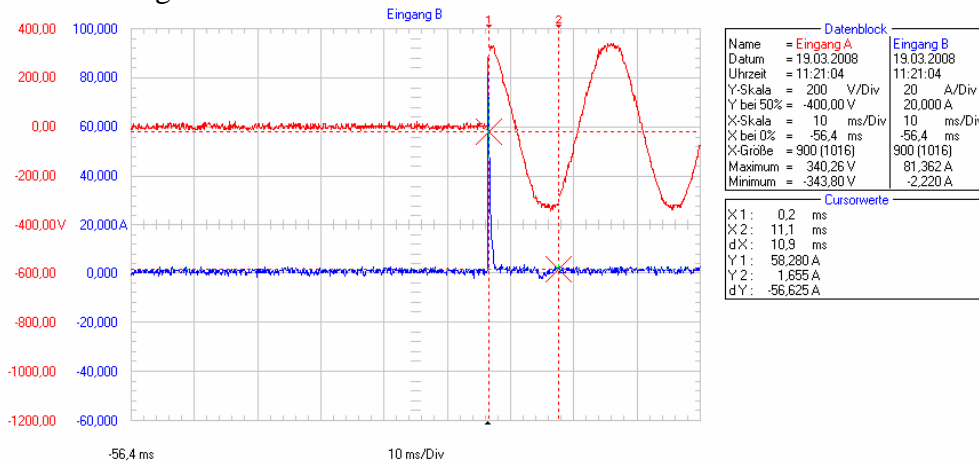


TSRL-test-snt-14.bmp, Delta El. SNT direkt ein

10A Spitze. Das würde ab 8 Stück Netzteilen den B16 A Automaten auslösen. (Schnellauslösen bei 5 mal Inenn.)

Man erkennt aus dieser Messung, dass die Verwendung eines Nullspannungsschalters für das Einschalten mehrerer Schaltnetzteile keine Lösung ist, weil die Ladung der Netzteil-Siebcondensatoren dabei zu schnell erfolgt.

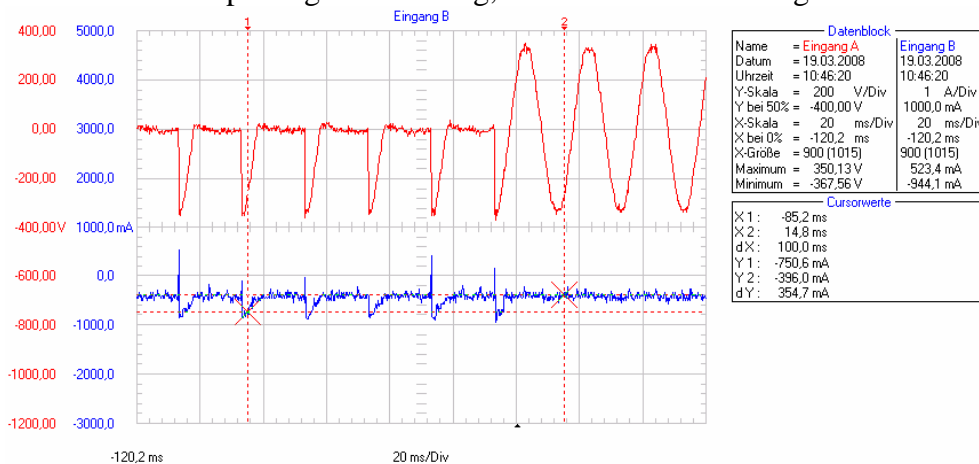
Bild 13. Schaltnetzteil ohne Leistungsfaktorkorrektur mit mechanischem Schalter zufällig im Scheitel eingeschaltet.



TSRL-test-snt-15.bmp, Delta El. SNT direkt ein

Ca. 50A Spitze Einschaltstromamplitude. Das ist der schlechteste Fall mit dem höchsten Einschaltstromstoß. Beim gemeinsamen Einschalten von 2 solcher Netzteile würde die Sicherung auslösen.

Bild 14. Einschalten eines Schaltnetzteils ohne eingebaute Leistungsfaktorkorrektur, also mit herkömmlicher Spitzengleichrichtung, über ein TSRL mit langsamem Andimmen.



TSRL-test-snt-12.bmp, wie Bild 10 aber im Leerlauf ohne Last

Bild 14 zeigt ein gutes Einschaltverhalten mit dem TSRL.

Weil ohne Last am Netzteilaustritt eingeschaltet wurde, bleibt der Spannungszwischenkreis im Netzteil nach jedem Vorlade- Spannungszipfel geladen, weshalb nach dem Volleinschalten kein Strom mehr fließt, da schon beim Andimmen auf den Scheitel aufgeladen wurde.

Mit belastetem Netzteilaustritt sind die Stromspitzen etwas größer aber immer noch wesentlich kleiner als beim Einschalten im Scheitel mit einem mechanischen Schalter wie im Bild 12 oder 13.

*1. Leistungsfaktor Korrektur. Verringert die Erzeugung von Netzoberwellenströmen, welche das Stromnetz zusätzlich belasten und zu Störungen im Stromnetz, Transformatoren und anderen Verbrauchern am Stromnetz führen können. Seit 2001 ist die Leistungsfaktor Korrektur gefordert für Schaltnetzteile mit einer Stromaufnahme von kleiner 16Ampere und größer 50 Watt Eingangsleistung. Norm: EN 61000-3-2.

Freiburg den 15.12.2008, Michael Konstanzer, EMEKO-Ingenieur-Büro.