



SYSTECH J.Schnyder GmbH

Schliefweg 30
CH-4106 Therwil
Telefon 091 827 15 87
www.systech-gmbh.ch

SCAP in Serieschaltung

Inhalt

Einleitung	2
Grundlagen	2
einfacher Serieschaltung	2
Abtrennen und Überbrücken von SCAPs	4
Funktionsweise:	5
Vorteile des Verfahrens:	5
Nachteile:	5
Anwendungsmöglichkeiten:	6
Anhang A	7
Herleitung des Energieinhalts	7

Einleitung

SCAP-Kondensatoren eignen sich hervorragend für die Speicherung von elektrischer Energie. Sie sind zuverlässig, wartungsfrei und dauerhaft. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass die maximale Ladespannung nur circa 2,5V beträgt und auf keinen Fall überschritten werden darf. Im folgenden einige Betrachtungen zur Problematik des Betriebs von SCAPs in Serieschaltung und die Vorstellung eines Systems dazu.

Grundlagen

Der Energie-Inhalt eines SCAPs beträgt:

$$E = \frac{V_{\max}^2 C}{2}$$

oder bei konstantem Ladestrom

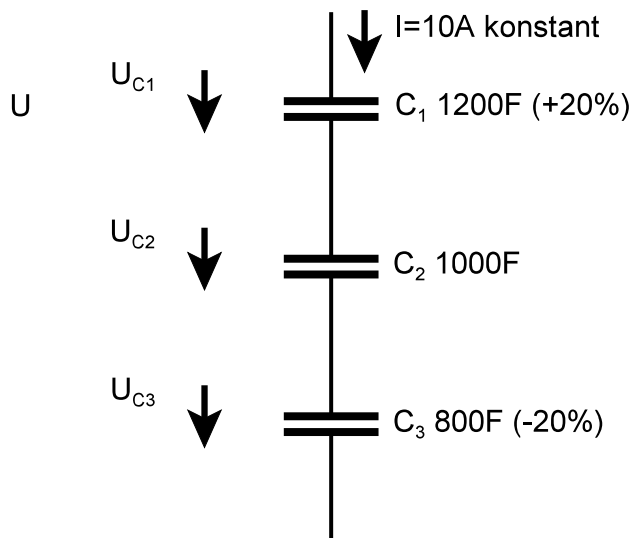
$$E = \frac{I^2 t^2}{2C}$$

das heisst, dass der Energie-Inhalt quadratisch von der Kondensator-Spannung abhängt. Aus diesem Grund ist es äusserst wichtig, dass die Kondensatoren vollständig geladen werden. (auf maximal U_{cmax})

Weitere Betrachtungen finden Sie im Anhang A

einfacher Serieschaltung

Betrachten wir folgendes Beispiel einer Serieschaltung von drei SCAPs. Die maximale Ladespannung (U_{cmax}) soll 2,5V betragen. Es stellt sich die Frage nach dem maximal möglichen Energie-Inhalt dieser Anordnung und dem ohne Zusatzschaltung realisierbaren Energie-Inhalt.



Die Ladezeit ergibt sich aus der Zeit die zur Verfügung steht, bis der erste Kondensator die maximale Ladespannung erreicht hat. Dies wird im obigen Beispiel bei C_3 der Fall sein, da der Kondensator mit der kleinsten Kapazität am schnellsten geladen wird.

Somit beträgt die Ladezeit:

$$t_l = \frac{U_{\text{max}} C_{\text{min}}}{I} = \frac{2.5V \cdot 800F}{10A} = 200s$$

Der maximal mögliche Energie-Inhalt beträgt:

$$\begin{aligned} E_{\text{max}} &= E_{C_1} + E_{C_2} + E_{C_3} = \frac{U_{\text{Cmax}}^2 C_1}{2} + \frac{U_{\text{Cmax}}^2 C_2}{2} + \frac{U_{\text{Cmax}}^2 C_3}{2} = \\ &= \frac{U_{\text{Cmax}}^2}{2} (C_1 + C_2 + C_3) = \frac{(2.5V)^2}{2} (1200F + 1000F + 800F) = \\ &= 3.125V^2 \cdot 3000F = \underline{\underline{9375Ws}} \end{aligned}$$

Da der Ladevorgang jedoch nach 200 Sekunden abgebrochen werden muss, beträgt der Energie-Inhalt nur:

$$\begin{aligned} E_{200} &= E_{200C_1} + E_{200C_2} + E_{200C_3} = \frac{I^2 t^2}{2C_1} + \frac{I^2 t^2}{2C_2} + \frac{I^2 t^2}{2C_3} = \\ &= \frac{I^2 t^2}{2} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = \frac{10^2 A^2 200^2 s^2}{2} \left(\frac{1}{1200F} + \frac{1}{1000F} + \frac{1}{800F} \right) = \\ &= \underline{\underline{6166Ws}} \end{aligned}$$

zur Kontrolle:

$$U_{C_i} = \frac{It}{C_i}$$

$$U_{C_1,200} = 1.667V \rightarrow E_{200,C_1} = 1667Ws$$

$$U_{C_2,200} = 2.000V \rightarrow E_{200,C_2} = 2000Ws$$

$$U_{C_3,200} = 2.500V \rightarrow E_{200,C_3} = 2500Ws$$

$$E_{200} = 6166Ws$$

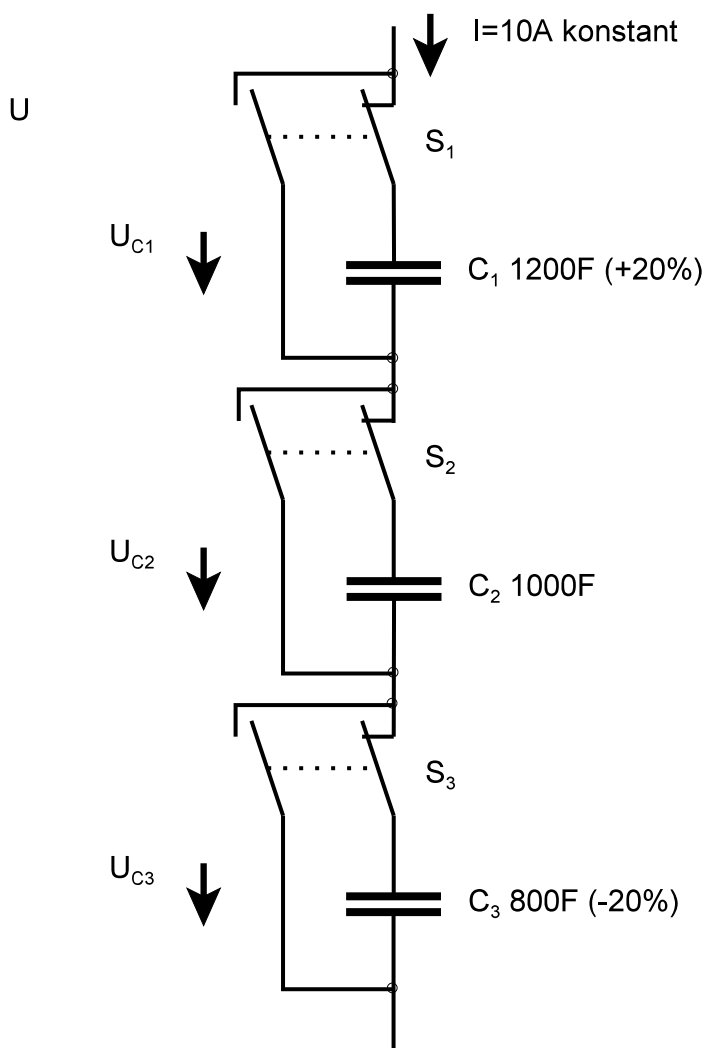
Daraus folgt: Der Energie-Inhalt nach 200s (E_{200}) beträgt nur ca. 65% des maximal möglichen

Energieinhalts (E_{\max}).

Folgerung:

- entweder setzt man eine Ausgleichs-Schaltung ein
- oder
- man trennt die vollständig geladenen Kondensatoren ab und überbrückt diese wie dies im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

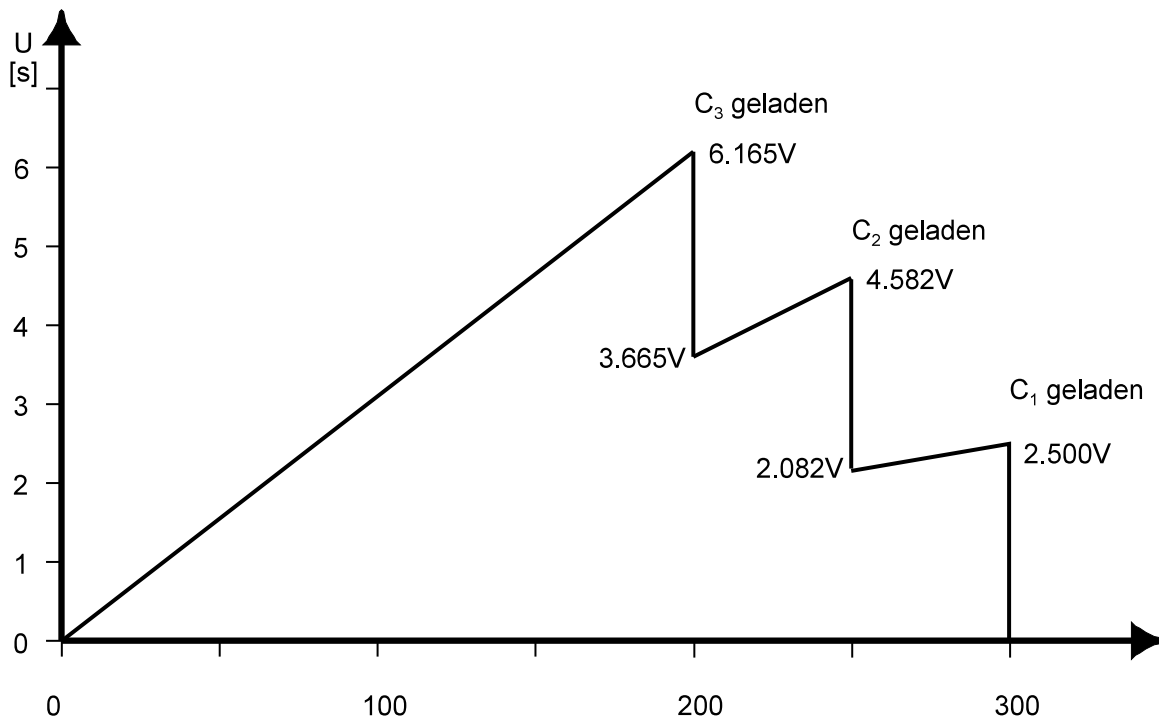
Abtrennen und Überbrücken von SCAPs



Funktionsweise:

Normalerweise sind die Schalter in Ruhestellung; das heisst die Kondensatoren befinden sich in der

einfachen Serieschaltung. Beim Laden der Kondensatoren wird ein Kondensator als erster $U_{c\max}$ erreichen. Beim Erreichen dieser Schwelle muss nun die Überwachungs-Schaltung den betreffenden Schalter betätigen so dass der Kondensator abgetrennt und überbrückt wird. Die verbleibenden Kondensatoren können so weiter geladen werden. Jeder Kondensator der vollständig geladen ist wird abgetrennt und überbrückt. Sind alle Kondensatoren geladen, sind folglich alle kurzgeschlossen aus diesem Grunde muss die Ladeschaltung als Konstantstrom-Quelle konzipiert sein. Nachfolgendes Diagramm veranschaulicht den Ladevorgang des Beispiels.



Die maximale Ladezeit beträgt:

$$t_{l\max} = \frac{C_{\max} U_{c\max}}{I} = \frac{1200\text{ F} \times 2.5\text{ V}}{10\text{ A}} = 300\text{ s}$$

Vorteile des Verfahrens:

- einfache Schaltung
- einfache Überwachung

Nachteile:

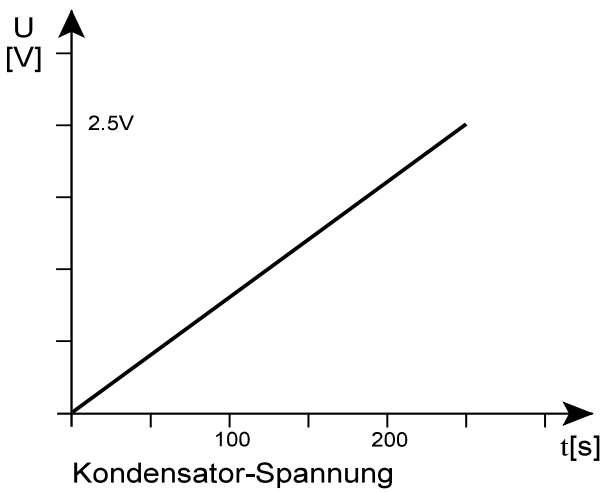
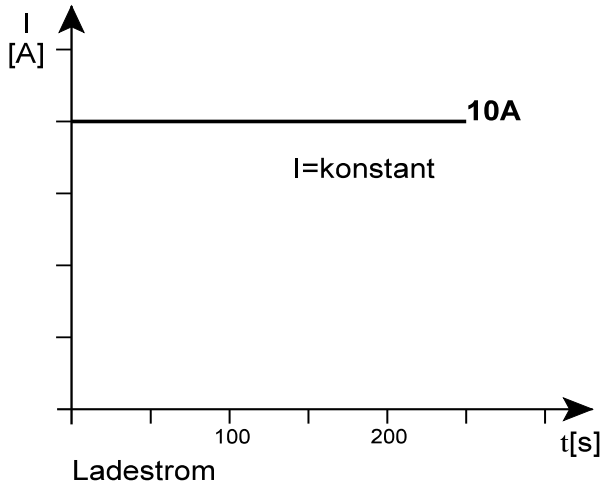
- Die Ladezeit wird generell länger. 50% länger (bezogen auf unser Beispiel) als bei reiner Serie-Schaltung, 20% länger im Vergleich mit einer Ausgleichs-Schaltung).
- Der Ladestrom muss von einer Konstant-Stromquelle bereitgestellt werden. (Spannungssprünge von U_{tot} und Kurzschluss nach vollständiger Ladung der Kondensatoren)

Anwendungsmöglichkeiten:

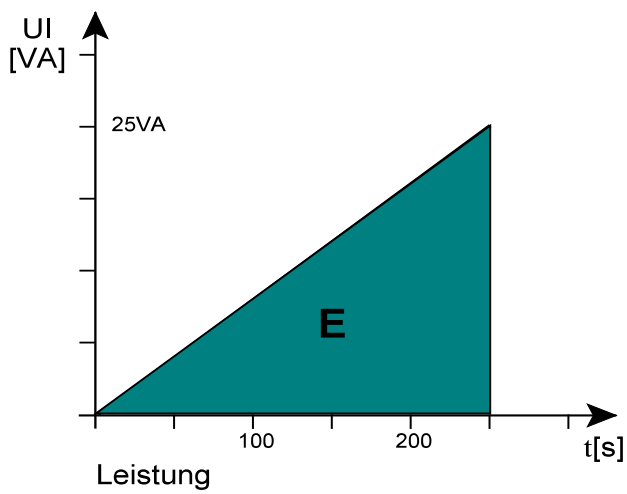
- ausnützen des maximalen Energieinhalts der Kondensatoren
- Ausgangs-Spannungsregelung nach dem Prinzip der Stufenschalter
- Laden von SCAPs aus einer Quelle mit niederer Spannung und nachfolgendem variablen zusammenschalten der SCAPs zu einer höheren Spannung

Anhang A

Herleitung des Energieinhalts



$$U = \frac{It}{C}, \quad I = \frac{UC}{t}$$



$$E = \frac{UI}{2}t = \frac{U^2C}{2} = \frac{I^2t^2}{C}$$