

## 1 Vollautomatische Messung des Ladevorganges

### V 1.1 Entwurf der Messschaltung

Hier fehlt noch Text

Wir haben uns für eine spannungsrichtige Messschaltung entschieden, da der  $2,33 \cdot 9000$  Widerstand der Spannungsmessung so hoch ist, dass er die Strommessung nur unwesentlich beeinflusst.

## 2 Differenzier- und Integrierglied

### V 2.1 Herleitung des Mittelwertes einer Rechteckimpulsfolge

Die Spannung ist wie folgt definiert:

$$u_p(t) = \begin{cases} U_{PH} & \text{für } 0 \leq t < t_i \\ U_{PL} & \text{für } t_i \leq t < T \end{cases} \quad (2.1)$$

Das Integral wird wie folgt gelöst:

$$\bar{u}_p = \frac{1}{T} \cdot \left[ [U_{PH} \cdot t]_0^{t_i} + [U_{PL} \cdot t]_{t_i}^T \right] \quad (2.2)$$

$$\bar{u}_p = \frac{1}{T} \cdot \left[ (U_{PH} \cdot t_i - 0) + (U_{PL} \cdot T - U_{PL} \cdot t_i) \right] \quad (2.3)$$

Danach ergibt sich:

$$\bar{u}_p = \frac{t_i}{T} \cdot (U_{PH} - U_{PL}) + U_{PL} \quad (2.4)$$

$$= T_v \cdot (U_{PH} - U_{PL}) + U_{PL} \quad (2.5)$$

## 3 Ladungspumpe und Spannungsvervielfacher

### V 3.1 Herleitung einer Formel für Ausgangsspannung

Die Kaskade kann in zwei Verdopplungsschaltungen nach [1, S. 42] aufgeteilt werden. Diese werden dann einzeln betrachtet.

$C_2$  würde mit  $U_q$  über  $C_1$  auf  $2 \cdot U_q$  aufgeladen werden, wenn die Durchlassspannungen der Dioden nicht vernachlässigt werden könnten. Berücksichtigt man diese aber, verringert sich

diese Spannung um die Spannung, die an den beiden Dioden abfällt ( $2 \cdot U_F$ ). Somit gilt für  $U_{C_2}$ :

$$U_{C_2} = 2 \cdot U_q - 2 \cdot U_F \quad (3.1)$$

$C_4$  in der zweiten Stufe wird nach dem gleichen Prinzip aufgeladen:

$$\underline{U}_{C_4} = 2 \cdot U_q - 2 \cdot U_F \quad (3.2)$$

### V 3.2 Entwurf der Messschaltung mit Oszilloskop

Hier ist eine Referenz auf die Abbildung 3.1.

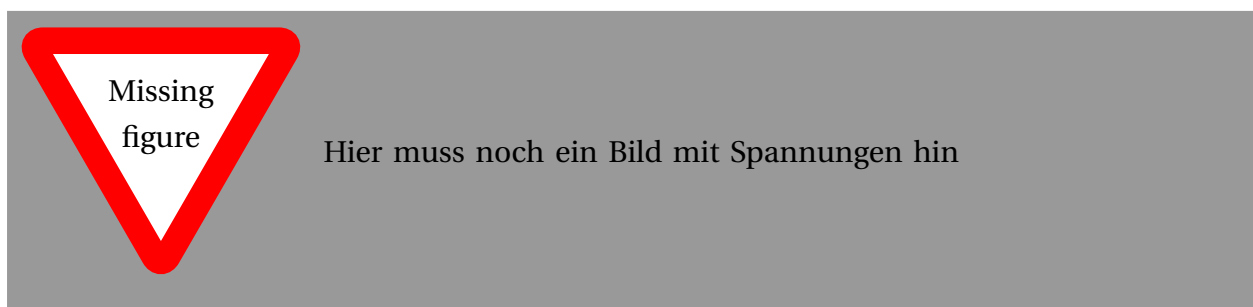


Abbildung 3.1: Diagramm der Spannungen an Quelle und Kondensator

### V 3.3 Vorbereitung zur Ladungspumpe

#### 3.3.1 Vorlage Kaskadenschaltung

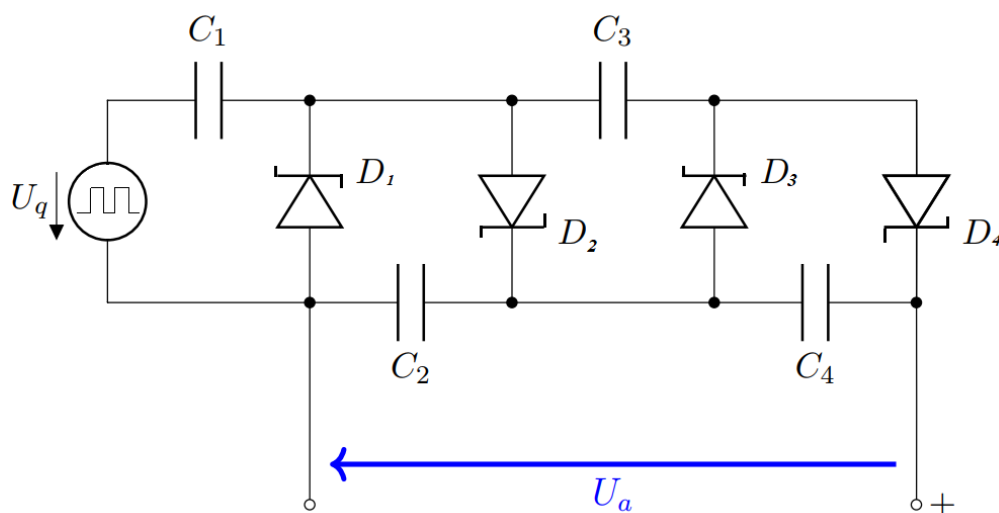


Abbildung 3.2: 4C/4D Kaskade als Vorlage zur Versuchsanordnung

Und nochmal ein einfacher Include mit dem easyfig package. Referenz geht dann automatisch mit dem Dateinamen: Abbildung 3.3:

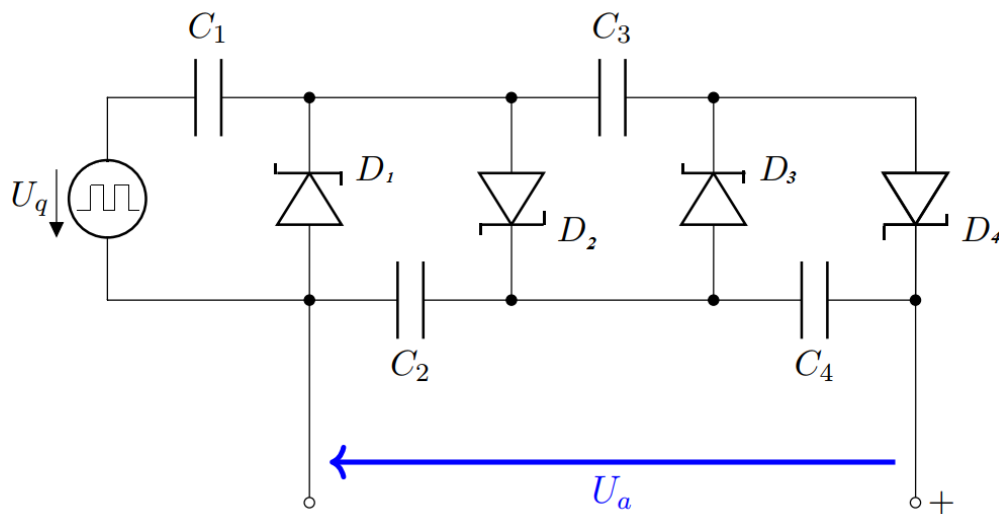


Abbildung 3.3: 4C/4D Kaskade als Vorlage zur Versuchsanordnung

Die Ausgangskapazität  $C_A$  wird als Reihenschaltung der Kondensatoren  $C_2$  und  $C_4$  berechnet:

$$C_A = \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}} = \frac{1}{\frac{1}{20 \mu\text{F}} + \frac{1}{20 \mu\text{F}}} = 10 \mu\text{F} \quad (3.3)$$

Die zu erwartende Ausgangsspannung wurde berechnet:

$$U_{C_2} = U_{C_4} = 2 \cdot U_q - 2 \cdot U_F = 16 \text{ V} - 2 \cdot 300 \text{ mV} = 15,4 \text{ V} \quad (3.4)$$

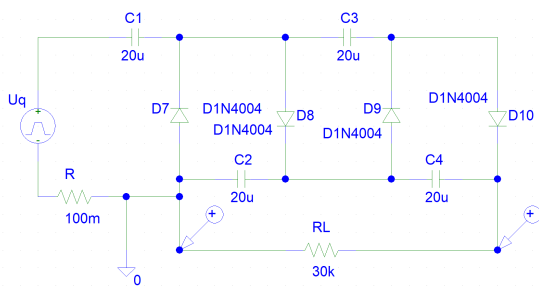
Für  $\frac{du_A}{dt}$  gilt mit  $I_A = 10 \text{ mA}$ :

$$\frac{du_A}{dt} = \frac{I_A}{C_A} = \frac{10 \text{ mA}}{10 \mu\text{F}} = 1000 \frac{\text{V}}{\text{s}} \quad (3.5)$$

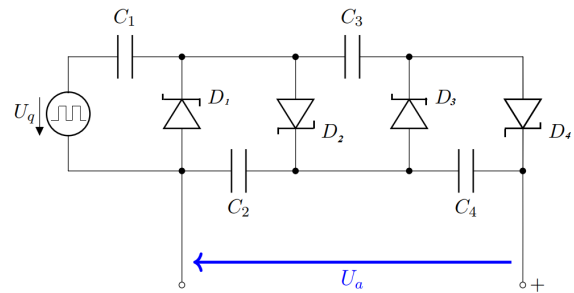
$I_A$	$R_L$	$U_A$	$\frac{du_A}{dt}$ (Messung)	$\frac{du_A}{dt}$ (Rechnung)	$I_{\text{umlade}}$
1 mA				$100 \frac{\text{V}}{\text{s}}$	
5 mA				$500 \frac{\text{V}}{\text{s}}$	
10 mA				$1000 \frac{\text{V}}{\text{s}}$	

### D 3.1 PSPICE-Simulation der Kaskade

Die Schaltung wurde mit PSPICE simuliert, und mithilfe von Markern die Ausgangsspannung und der Umladestrom bestimmt. Um den Wechselanteil der Ausgangsspannung zu ermitteln, wurde vom angezeigten Wert der Durchschnittswert mittels *AVG* abgezogen.



(a) Simulation der Kaskadenschaltung (Marker für Spannungsmessung)



(b) 4C/4D Kaskade als Vorlage zur Versuchsanordnung

Abbildung 3.4: Gesamtdarstellung von irgendwas

```
1  syms x;
2  c0 = 0;
3  c1 = 1;
4  c2 = 0.1;
5  c3 = -0.05;
6  X = 2; % X = 1;
7  Y1dach = c1*X + (3/4)*c3*X^3;
8  Y2dach = (1/2)*c2*X^2;
9  Y3dach = (1/4)*c3*X^3;
10 Y1eff = (1/sqrt(2)) * Y1dach;
11 Y2eff = (1/sqrt(2)) * Y2dach;
12 Y3eff = (1/sqrt(2)) * Y3dach;
13 Ygeseff = sqrt(Y1eff^2 + Y2eff^2 + Y3eff^2);
14
15 k2 = Y2eff/Ygeseff
16 k3 = Y3eff/Ygeseff
17 kges = sqrt(k2^2 + k3^2)
```

## Literatur

- [1] Thomas Harriehausen und Dieter Schwarzenau. *Moeller Grundlagen der Elektrotechnik*. 23. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. ISBN: 978-3-834-81785-3.

## Geräteliste

Gerät	Nummer
Multimeter Keysight U1241C	AMES_13, AMES_14, AMES_15
Stelltrafo	27-15
Stelltrafo	29-24
Ringkerntrafo	97-24
Digitalmultimeter	40-24