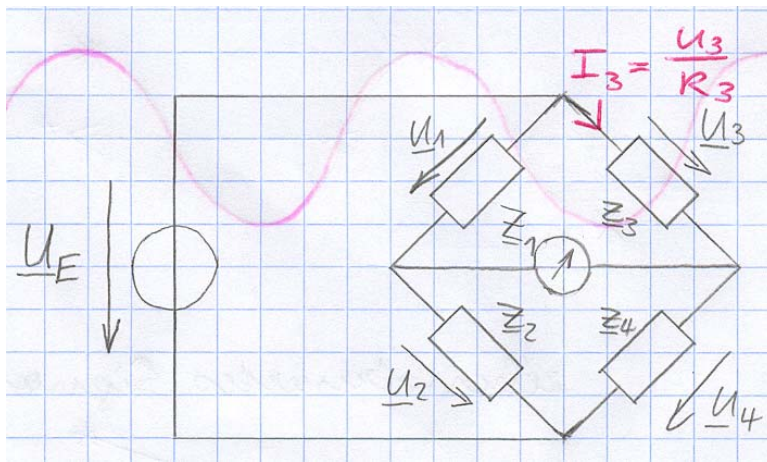


1. Wechselstrommessbrücken (allgemein):

Wechselstrommessbrücken sind analog zur Wheatstonebrücke, die Versorgung erfolgt über eine sinusförmige Wechselspannung deren Amplitude und Frequenz einstellbar sind. Die Brückenwiderstände bestehen aus Kombinationen von ohmschen und Frequenzabhängigen Widerständen. Einige der Elemente sind bekannt, die unbekannten können nach dem Abgleich durch Änderung von bekannten Element aus den Abgleichbedingungen berechnet werden. Als Nullindikator kann z.B.: ein Oszilloskop verwendet werden.

1.1 Abgleichbedingungen:a. Betragsbedingung:

Damit die Brücke abgeglichen ist, das heißt dass die Spannung am Instrument Null wird muss gelten:

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \frac{\underline{U}_3}{\underline{U}_4} \Rightarrow \frac{\underline{Z}_1 * e^{j\varphi_1}}{\underline{Z}_2 * e^{j\varphi_2}} = \frac{\underline{Z}_3 * e^{j\varphi_3}}{\underline{Z}_4 * e^{j\varphi_4}}$$

$$e^{j\varphi_i} = |\cos \varphi_i + j \sin \varphi_i| = \sqrt{\cos^2 \varphi_i + \sin^2 \varphi_i} = 1$$

**→ Betragsbedingung:**

$$\boxed{\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}}$$

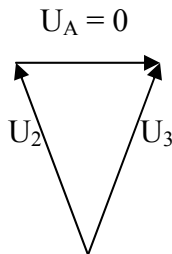
b. Phasenbedingung:

$$\frac{e^{j\varphi_1}}{e^{j\varphi_2}} = \frac{e^{j\varphi_3}}{e^{j\varphi_4}} \Rightarrow e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = e^{j(\varphi_3 - \varphi_4)}$$

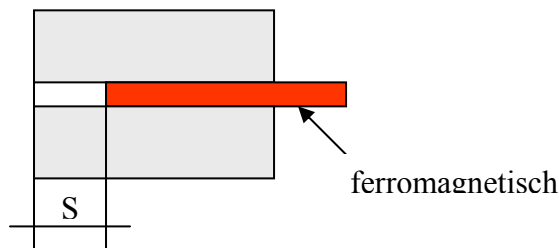
**→ Phasenbedingung:**

$$\boxed{\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_4}$$

Ist nur die Betragsbedingung erfüllt sind zwar die Beträge der Spannungen  $U_2$  und  $U_3$  gleich, durch den Phasenwinkel zwischen den beiden Teilspannungen ist aber eine Spannung  $U_A$  abgreifbar. Um Betrags – und Phasenbedingung erfüllen zu könne müssen mindestens 2 Widerstände einstellbar sein. Die Betragsbedingung kann immer erfüllt werden, die Phasenbedingung jedoch ist nicht mit jeder Schaltung erfüllbar.



### 1.3 Anwendung (Abstandmessung):



### **Induktivität:**

$$L = K * \frac{1}{s} \Rightarrow \frac{dL}{ds} = -K * \frac{1}{s^2} = -\frac{L}{s} \Rightarrow \frac{dL}{L} = -\frac{ds}{s}$$

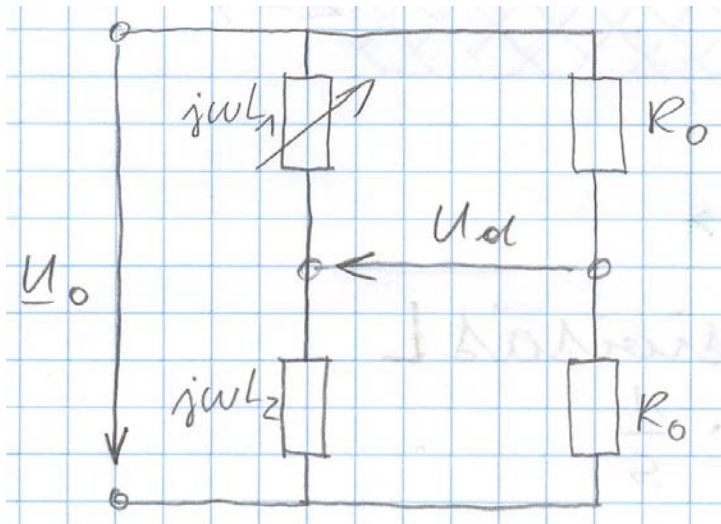
Der Betrag der relativen Induktivitätsänderung und jener der relativen Wegänderung sind gleich groß. Um die Induktivitätsänderung erfassen zu können, wird die Induktivität in eine Wechselbrücke eingebaut. Man unterscheidet zwischen Abgleich – und Ausschlagmessbrücke.

#### a. Abgleichmessbrücke:

Bei diesem Verfahren wird die Brückenspannung  $U_A$  durch Veränderung von Brückenelementen ständig auf Null abgeglichen. Dieses Verfahren ist nur aufwändig realisierbar.

#### b. Ausschlagbrücke:

Bei dieser Brücke erfolgt im Ruhezustand der Abgleich. Ändert sich eins der Brückenelemente ergibt sich eine Brückenspannung, die proportional zur Messgröße ist. (z.B.: Viertelbrücke)



## 2. Messung von Wechselstromgrößen:

Bei sinusförmigen Größen wird der Effektivwert als charakteristischer Wert angegeben.

RMS: root means square

Einfache Messgeräte arbeiten mit dem Mittelwert der gleichgerichteten Größe und der Kalibrierung auf den Effektivwert.

$$\frac{U_{eff}}{U_{gl}} = 1,11$$

### 1.2 Abtastverfahren:

#### a. Prinzip:

Viele Digitalmessgeräte arbeiten mit numerischen Verfahren. Mit Hilfe von A/D – Wandlern werden von dem Messsignal in konstanten Zeitabständen Momentanwerte entnommen und digitalisiert.



Mit Hilfe von Rechnerprogrammen werden die charakteristischen Signalgrößen ermittelt.

**Arithmetischer Mittelwert:**

$$\overline{U} = \frac{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}{n}$$

$$\overline{U} = \frac{U_s * 2}{\pi} \quad \text{ungenau}$$

**Effektivwert:**

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}{n}}$$

$$U_{eff} = \overline{U} * 1,11 \quad \text{ungenau}$$

**Scheinleistung:**

$$S = U_{eff} * I_{eff}$$

**Wirkleistung:**

$$P = \frac{u_1 * i_1 + u_2 * i_2 + \dots + u_n * i_n}{n}$$

b. Abtastfrequenz (Abtastrate  $f_u$ ):

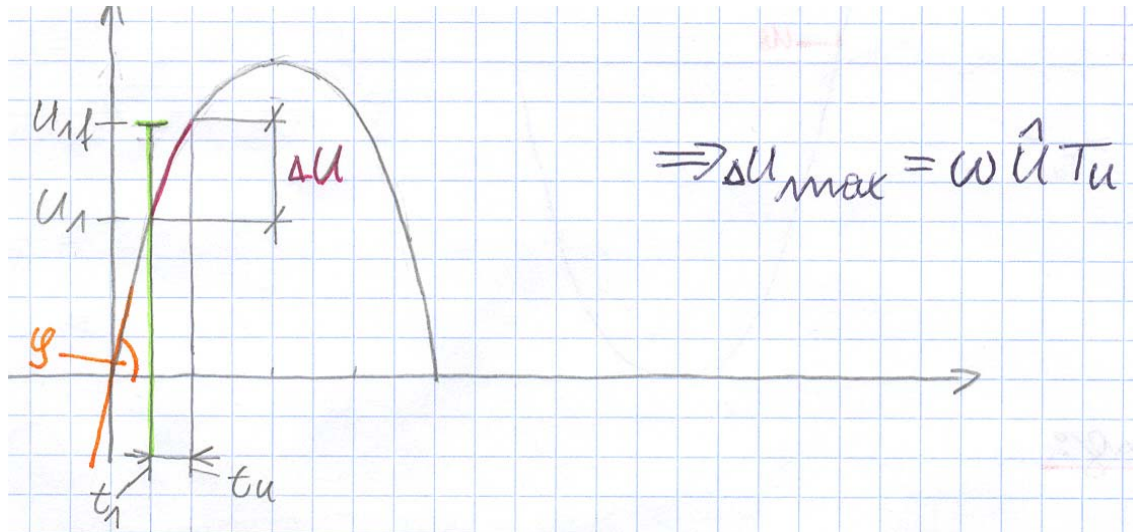
Der Auswertungsfehler ist umso geringer je mehr Momentanwerte je Periodendauer zur Verfügung stehen. Die Anzahl ist aber durch die Umsetzzeit des A/D – Wandlers begrenzt.

$T_u$ ...Umsetzzeit des A/D – Wandlers

$$\rightarrow f_{u \max} = \frac{1}{T_u} \quad \text{max. Abtastfrequenz}$$

c. Abtastfehler:

Der Abtastfehler entsteht dadurch, dass sich während der Umsetzzeit des A/D – Wandlers die Spannung ändert.



Bsp.:  $U = U_s * \sin(\omega * t)$ ; Fehler am größten beim Nulldurchgang (größte Steigung!)

$$\tan \varphi = \frac{du}{dt} = U_s * \cos \omega * t ; \quad \tan \varphi_{\max} = \omega * U_s$$

d. Maßnahmen zur Verringerung des Abtastfehlers:**Anwendung von Flash – Convertern:**

Vorteil: hohe Wandlungsgeschwindigkeit

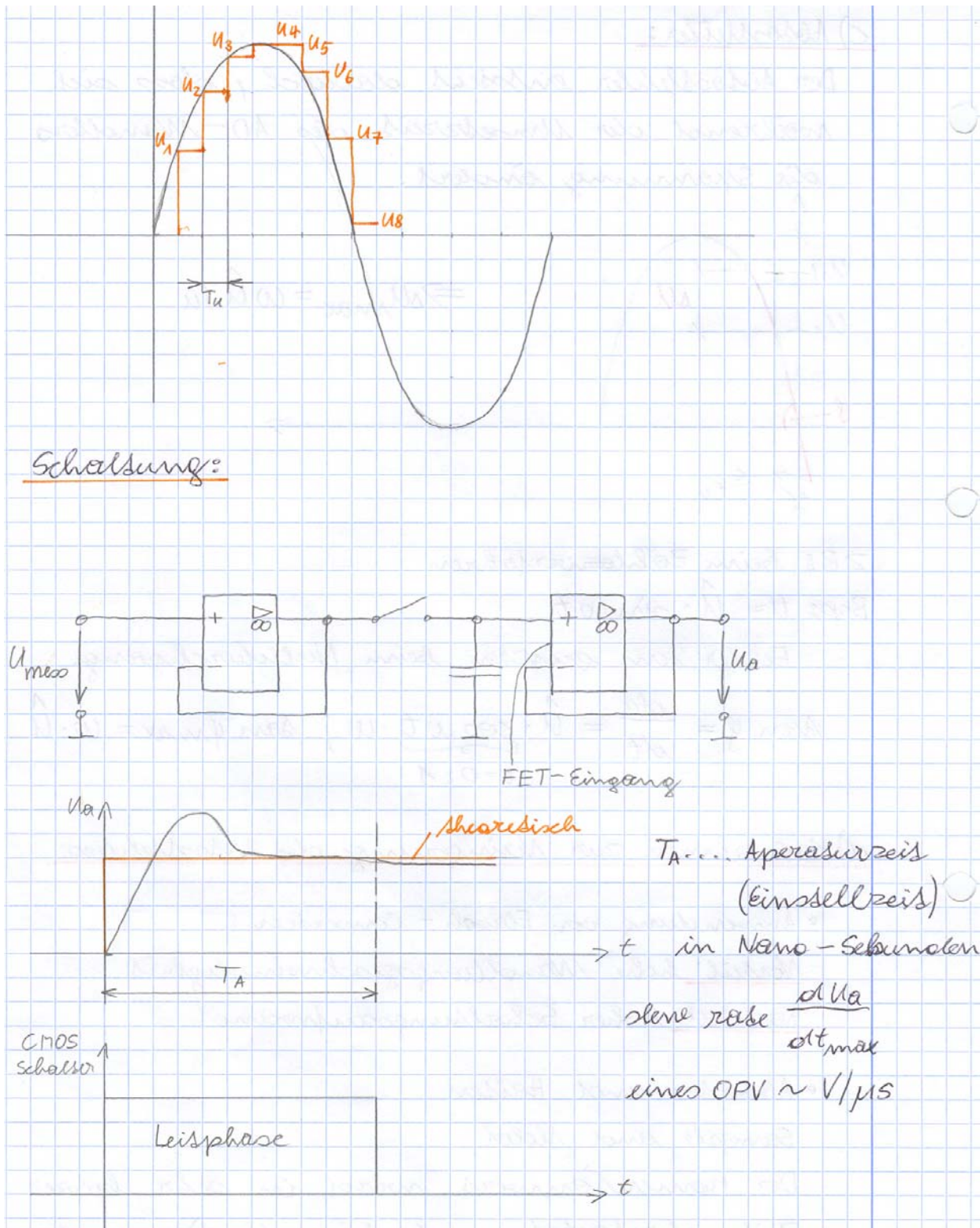
Nachteil: hoher Schaltungsaufwand

**Abtasten und Halten ; Sample and Hold:**

Der Momentanwert wird in sehr kurzer Zeit abgetastet und für die Dauer des Umsetzvorganges des A/D – Wandlers zwischengespeichert.

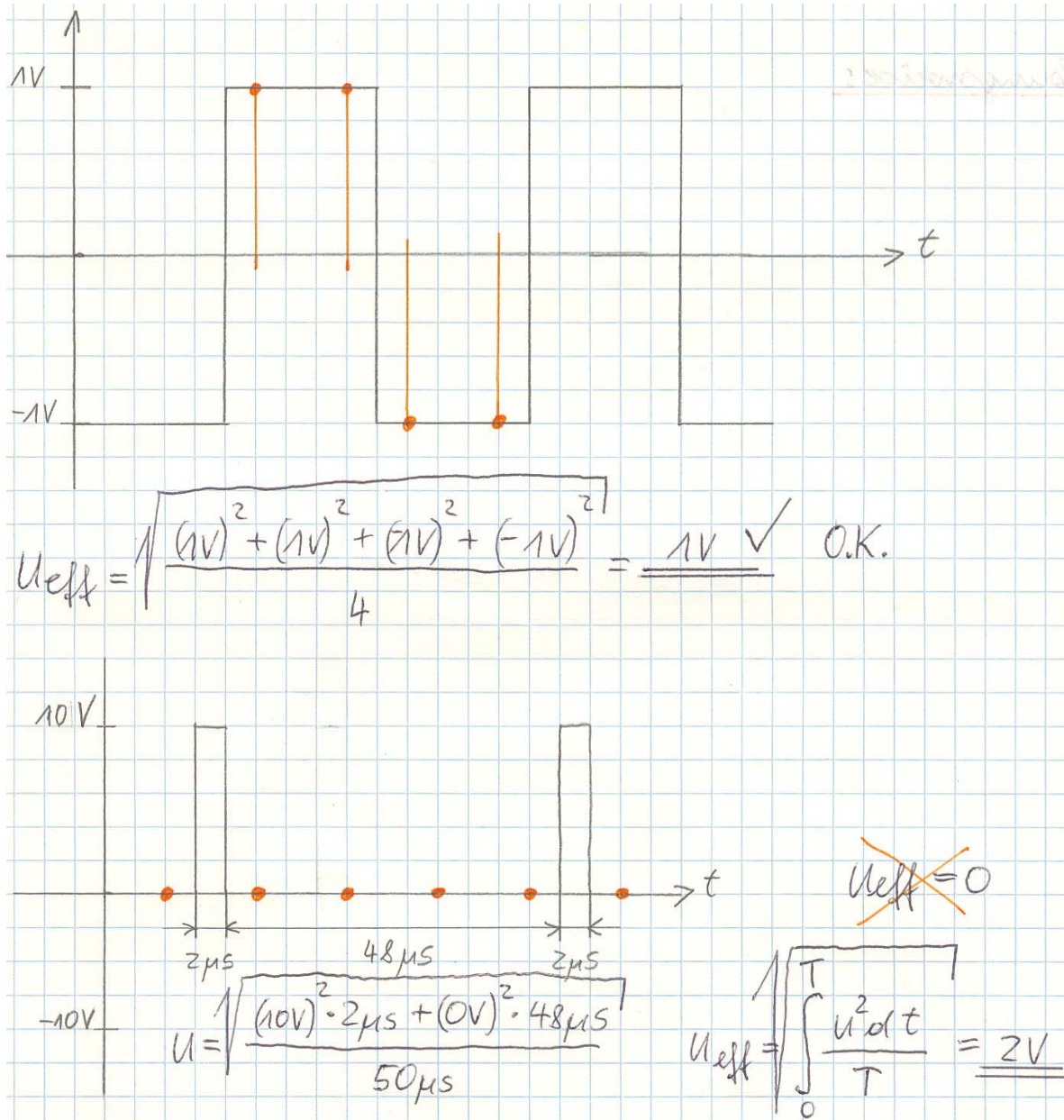


## Sample and Hold



e. Grenzen des Abtastverfahrens:

Bei sinusförmigen Größen ist die Grenze durch die Abtastrate und die Umsetzzeit vorgegeben. Bei nicht sinusförmigen Größen hängt die Brauchbarkeit der Messung auch von der Kurvenform ab.



Bei nicht sinusförmigen Größen ist daher die Angabe des Scheitelfaktors notwendig.

S...Scheitelfaktor

$$S = \frac{U_s}{U_{eff}} = \frac{10V}{2V} = 5$$