

## Bestimmung des Effektivwerts

### Definition:

Für die Messung von Wechselspannungen oder Strömen mit nicht sinusförmiger Wellenform muß der Effektivwert benutzt werden. Er ist definitionsgemäß der Wert der Gleichspannung, welche im Verbraucher den gleichen Effekt (Leistung) hervorruft. Grundsätzlich ist für die Bestimmung des Effektivwerts eine zeitliche Mittelung nötig, welche auch die untere Grenzfrequenz festlegt. Ohne zeitliche Mittelung würde jeweils der Augenblickswert wiedergegeben.

Zur Bestimmung des Effektivwerts muß also zuerst die Momentanleistung  $P_{\text{mom}}$  des Signals errechnet werden. Durch Filterung mit einer ausreichend langen Zeitkonstanten werden die Schwankungen der Momentanleistung beseitigt. Diese gemittelte Leistung  $P$  wird in die Effektivspannung zurückgerechnet.

$$P_{\text{mom}} = \frac{U^2}{R}; \quad P = \overline{P_{\text{mom}}}; \quad U_{\text{eff}} = \sqrt{P * R}; \quad \text{Insgesamt also: } U_{\text{eff}} = \sqrt{\left(\frac{U^2}{R}\right) * R};$$

R ist zeitlich konstant und fällt heraus zur bekannten Formel:

$U_{\text{eff}} = \sqrt{U^2}$

Dies spiegelt sich in der englischsprachigen Bezeichnung des Effektivwerts wieder: rms = root mean square, also Wurzel aus dem Mittelwert des Quadrats.

Ein wichtiger Begriff beim Effektivwert ist der Crestfaktor, das ist die maximale Spannung einer Wellenform dividiert durch die Effektivspannung. Bei Sinussignalen hat der Crestfaktor den Wert  $\sqrt{2} = 1,41$ , einige andere Wellenformen enthält die Liste. Beim Rauschen ist der Crestfaktor  $\infty$ . Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Momentanspannung größer wird, als  $U_{\text{eff}} * \text{Crestfaktor}$  sinkt mit wachsendem Crestfaktor drastisch ab. Für Meßgeräte des Effektivwerts wird ein Crestfaktor von 5 allgemein als ausreichend erachtet.

Wellenform	Crestfaktor
Sinus	$\sqrt{2} = 1,41$
Symmetrisches Rechteck	1
Sägezahn, Dreieck	$\sqrt{3} = 1,732$
Rauschen	$\infty$

Crestfaktor CF	Wahrscheinlichkeit $U > (U_{\text{eff}} * \text{CF})$
1	32%
2	4,8%
3	0,37%
3,9	100 ppm
4,9	1 ppm

### Messung von Wechselspannung:

Gewöhnliche Multimeter mit Wechselspannungsmessung richten die Eingangsspannung einfach gleich und skalieren das Ergebnis für Anzeige des Effektivwerts bei sinusförmigen Spannungen.

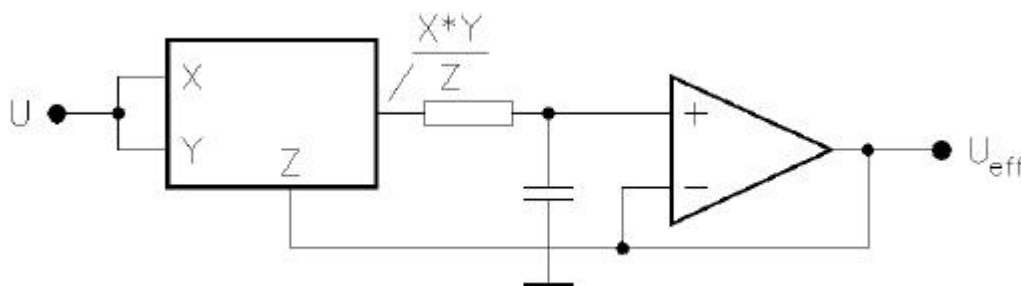
Zur Messung von abweichenden Wellenformen, insbesondere Rauschen, dürfen nur Meßgeräte mit exakter Bestimmung des Effektivwerts eingesetzt werden. Diese sind oft mit „echter Effektivwert“ oder TRMS (true rms) gekennzeichnet.

Messung mit analogen Funktionsmodulen:

Zur Berechnung des Effektivwerts mit analogen Funktionsmodulen könnte man die Eingangsspannung quadrieren, den zeitlichen Mittelwert bilden und dann daraus die Wurzel ziehen. Diese Anordnung hat aber den gravierenden Nachteil der Verdopplung der Dynamik beim Quadrieren der Spannung.

Ein Spannungsbereich von 10 mV – 10V bei einem Crestfaktor von 5 erfordert die lineare Verarbeitung eines Dynamikbereichs von 1 : 5000. Nach dem Quadrieren beträgt die Dynamik von 1 : 25000000 mit Spannungen von 0,4  $\mu$ V – 10V. Diese Dynamik ist nur bei Einsatz von logarithmischer Technik beherrschbar, was in einigen Effektivwert IC's geschieht.

Bei diskretem Aufbau verwendet man in der Regel ein Modul mit einem 3. Eingang Z, das die Funktion  $X*Y/Z$  ausführt und die Wurzel implizit bestimmt. Hier wird gleich bei der Multiplikation durch den Effektivwert geteilt und die Dynamik reduziert.



Zum Verständnis der Funktion nehmen wir an, daß am Ausgang  $U_{\text{eff}}$  erscheint. Am Ausgang des  $X*Y/Z$ - Moduls liegt dann  $U^2/U_{\text{eff}}$ , nach dem RC-Glied ist diese Spannung gemittelt  $\overline{U^2 / U_{\text{eff}}}$ . Der Spannungsfolger am Ausgang erzwingt demnach:  $\overline{U^2 / U_{\text{eff}}} = U_{\text{eff}}$ . Da  $\overline{U_{\text{eff}}} = U_{\text{eff}}$  ist, kann man damit erweitern und erhält zuerst:  $\overline{U^2} = U_{\text{eff}}^2$  und letztlich:  $U_{\text{eff}} = \sqrt{\overline{U^2}}$ .

Plötzliche Pegelsprünge führen bei dieser Anordnung vorübergehend zu sehr großen oder sehr kleinen Spannungen am Ausgang des  $X*Y/Z$ -Moduls, bis der Tiefpaß eingeschwungen ist. Dies bedeutet aber keinen Nachteil, da bei der Messung immer die Mittelungszeit abgewartet werden muß.

Thermische Messung:

Die Grenzfrequenz der Funktionsmodule liegt um 100 kHz. Das thermische Verfahren mißt die Erwärmung eines Widerstands durch die Meßspannung. Das einfachste Verfahren leitet die Meßspannung auf einen Widerstand und heizt einen zweiten, thermisch völlig identisch eingebauten Widerstand mit der Ausgangsspannung eines OpAmps. Wenn dieser auf präzise gleiche Temperaturen regelt, ist die Spannung am Vergleichswiderstand gleich  $U_{\text{eff}}$ . Nimmt man zwei 50  $\Omega$  Widerstände und führt die Zuleitungen als 50  $\Omega$  Striplines aus, so kann man bis zu Frequenzen im GHz-Bereich messen.