

## Kurvenformbewertung bei der Messung von HF-Spannungen mit dem HF-DC-Millivoltmeter URV

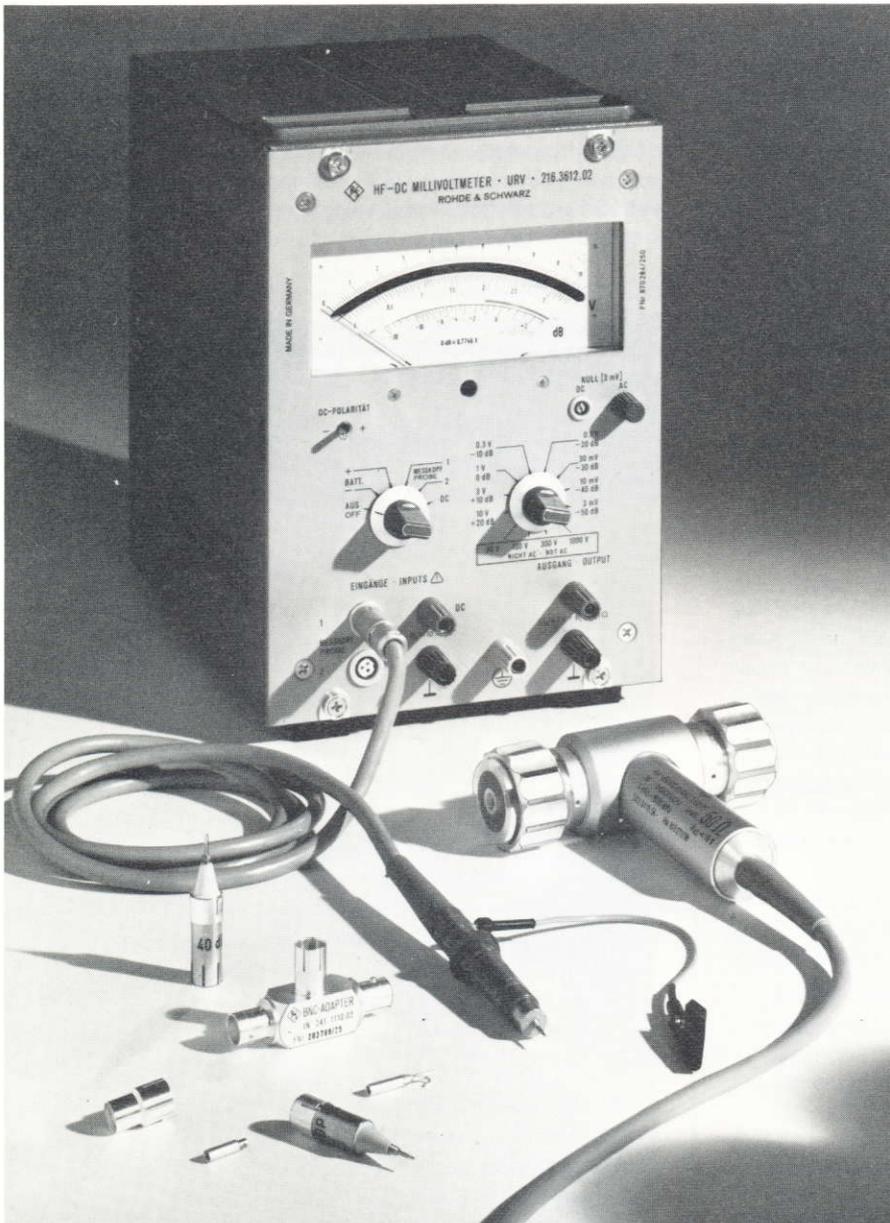


BILD 1 HF-DC-Millivoltmeter URV mit Zubehör.

Foto 24 794

### Meßköpfe und Meßgleichrichter

Die Meßgleichrichter zum HF-DC-Millivoltmeter URV (BILD 1) sind in getrennte Meßköpfe eingebaut und lassen sich so direkt in den Meßkreis schalten, wodurch mit geringem technischem Aufwand sehr gute HF-Meßeigenschaften erreicht werden [1].

Zum Einbau in HF-Meßköpfe eignen sich die drei in BILD 2 gezeigten Gleichrichterschaltungen. Schaltung a ist im koaxialen HF-Durchgangskopf, Schaltung c im HF-Tastkopf eingebaut. Die Schaltungen sind als Spitzenwertgleichrichter bekannt, da sie bei hohen Spannungen ab etwa 1 V einen der Spitzenwerte der Meßspannung anzeigen [2; 3]. Im URV werden jedoch diese Gleichrichter im Eingangsspannungsbereich von 0,5 mV bis 10 V eingesetzt; man muß deshalb auch die Kurvenformbewertung für Spannungen unter 1 V untersuchen.

BILD 3 zeigt die Richtkennlinie der Einweg-Gleichrichter a und b für Sinusspannung (Zweiweg-Gleichrichter c ergibt doppelte Richtspannung). Im Bereich der Spitzenbewertung oberhalb 1 V ist die Richtspannung gleich dem Spitzenwert (Gerade mit der Steigung 1). Bei kleinen Meßspannungen bis etwa 30 mV wirken die Dioden als Gleichrichter mit quadratischer Richtkennlinie (im doppelt-logarithmischen Maßstab eine Gerade mit der Steigung 2), und man erhält Effektivbewertung [4]. Zwischen 30 mV und 1 V gibt es einen Bereich mit stetigem Übergang von Effektiv- zu Spitzenbewertung beziehungsweise von quadratischer zu linearer Richtkennlinie.

## Linearisierung der Meßwertanzeige

Moderne HF-Voltmeter haben Schaltungen zur Linearisierung der Richtkennlinie, wodurch eine linear geteilte Anzeigeskala für alle Teilbereiche möglich wird. Beim URV ist hierfür zusammen mit dem Meßgleichrichter ein ähnlich aufgebauter Vergleichsgleichrichter in die Meßköpfe eingebaut. Im Grundgerät wird die Differenz der Richtspannungen von Meß- und Vergleichsgleichrichter in einem Regelverstärker verstärkt, in einer Zerhacker-schaltung in eine Sinusspannung umgeformt und über einen Teiler (zum Einstellen der Meßbereiche), einen Verstärker und einen Übertrager dem Vergleichsgleichrichter zugeführt. Dieser Regelkreis liefert eine dem Effektivwert der Sinusspannung am Meßgleichrichter proportionale Gleichspannung.

Das URV zeigt daher bei Sinusspannung im gesamten Meßbereich von 0,5 mV bis 10 V den Effektivwert an einem Instrument mit spannungsproportional geteilter Skala an. Es gibt auch HF-Voltmeter, bei denen die Linearisierung der Richtkennlinie durch eine nichtlineare Funktionsschaltung erfolgt.

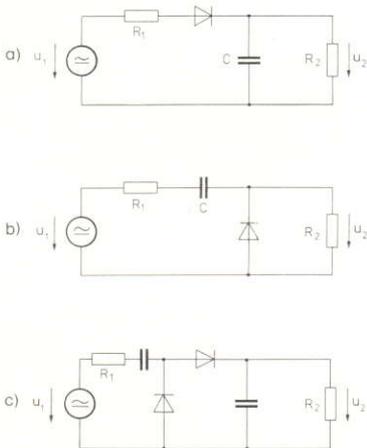


BILD 2 Gleichrichterschaltungen für HF-Meßköpfe.

- Einweggleichrichter mit Gleichspannungskopplung.
- Einweggleichrichter mit Wechselspannungskopplung.
- Zweiweggleichrichter mit Wechselspannungskopplung (Spannungsverdoppler-Schaltung).

## Kurvenformbewertung

Die Linearisierung der Richtkennlinie durch Regelkreis oder Funktionsschaltung ist nur für Sinusspannungen und sinusähnliche Spannungen wirksam und ändert nichts an der Kurvenformbewertung.

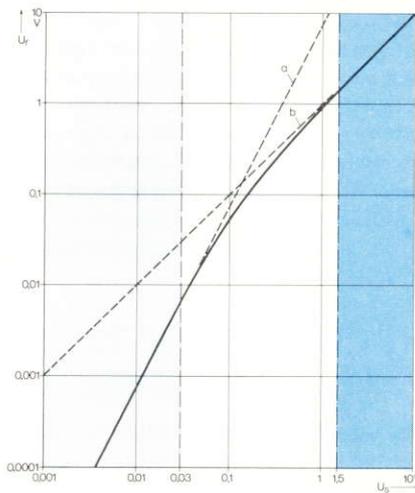


BILD 3 Richtspannung eines Einweggleichrichters mit Ge-Spitzdiode als Funktion des Spitzenwertes einer Sinusspannung. Hellblauer Bereich: Effektivwertgleichrichtung; dunkelblauer Bereich: Spitzenbewertung.

- Kennlinie des idealen quadratischen Gleichrichters.
- Kennlinie des idealen Spitzenwertgleichrichters.

Für nichtsinusförmige Spannungen ist der Zusammenhang zwischen Anzeigespannung und Meßspannung in BILD 4 gezeigt. Die Kurven wurden für einen nullsymmetrischen Rechteckpuls mit Scheitelfaktoren zwischen  $S = 1$  und  $S = 5$  berechnet. Sie gelten in guter Näherung auch für andere nullsymmetrische Spannungsformen mit gleichen Scheitelfaktoren.

Bei der Darstellung der Anzeigespannung als Funktion des Effektivwertes laufen die Kurven im Bereich unter 10 mV zusammen; die Anzeigespannung ist dort also unabhängig vom Scheitelfaktor und daher auch unabhängig von der Kurvenform gleich dem Effektivwert der Meßspannung. In diesem quadratischen

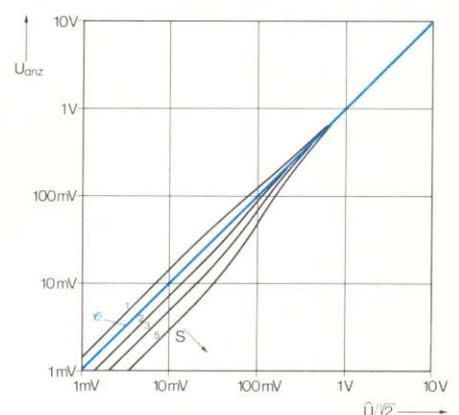
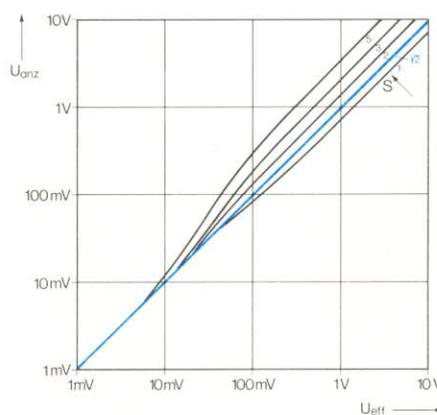


BILD 4 Anzeigespannung des URV als Funktion des Effektivwertes (links) und des Spitzenwertes (rechts) für Wechselspannungen mit verschiedenen Scheitelfaktoren.

Bereich der Richtkennlinie von Bild 3 bewerten auch die Einweg-Gleichrichterschaltungen beide Polaritäten der Meßspannung.

Wird die Anzeigespannung als Funktion des Spitzenwertes aufgetragen, laufen die Kurven im Bereich oberhalb 1 V zusammen, das heißt, die Anzeigespannung ist unabhängig vom Scheitelfaktor gleich dem Spitzenwert, geteilt durch den Sinus-Scheitelfaktor  $S = \sqrt{2}$ . Bei nicht nullsymmetrischen Meßspannungen muß man beachten, daß die Einweg-Gleichrichter im Bereich der Spitzenwertgleichrichtung nur eine Polarität bewerten.

Für Sinusspannung und für andere Spannungen mit dem Scheitelfaktor  $S = \sqrt{2}$  ergibt sich in den Diagrammen eine Gerade mit der Steigerung 1; der Anzeigewert ist gleich dem Effektivwert. Für diese Spannungsformen gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Kurvenformbewertungen und daher weder eine Obergrenze der Effektivbewertung noch eine Untergrenze der Spitzenbewertung (bei nichtsinusförmigen Spannungen mit  $S = \sqrt{2}$  können im Übergangsbereich geringfügige Abweichungen von der Geraden vorkommen).

## Grenze der Effektivbewertung

Die Anzeigekennlinien in Bild 4 links weichen oberhalb von 10 mV um so früher von der Geraden  $U_{anz} = U_{eff}$  ab, je größer der Scheitelfaktor ist. Die Obergrenze der Effektivbewertung läßt sich deshalb nicht gut durch einen maximalen Effektivwert oder Anzeigewert beschreiben, dagegen aber unabhängig von der Kurvenform recht genau durch einen maximalen Spitzenwert, der vom zugelassenen Bewertungsfehler abhängt.

Die Werte in TABELLE 1 wurden mit Sinusbursts mit verschiedenen Tastverhältnissen beziehungsweise Scheitelfaktoren gemessen.

TABELLE 1: Obergrenze des Spitzenwertes für Effektivbewertung

Bewertungsfehler	+2 %	+5 %	+10 %	+20 %
$\dot{U}_{\max}$	30 mV	40 mV	54 mV	75 mV

Für Spannungen ab etwa 1 V zeigt das URV den durch den Sinus-Scheitelfaktor  $S = \sqrt{2}$  geteilten Spitzenwert an, die Anzeige unterscheidet sich um den Faktor  $S/\sqrt{2}$  vom Effektivwert. In der Mitte des Übergangsbereiches bei etwa  $\dot{U} = 200$  mV hat man etwa die Hälfte des maximalen Bewertungsfehlers.

Bei Spannungen mit S zwischen 1 und 2 sind höhere Spitzenwerte als nach Tabelle 1 zulässig, es wird dann bis 30 mV effektivwertrichtig gemessen. Das URV kann demnach in den drei empfindlichsten Teilbereichen 3, 10 und 30 mV als

Effektivwertmeßgerät benutzt werden. Mit den kapazitiven Teilern zum Tastkopf und mit koaxialen Dämpfungsgliedern läßt sich der Effektivwert-Meßbereich erweitern. In TABELLE 2 sind die dabei maximal zulässigen Scheitelfaktoren der Meßspannung angegeben. Bei Teilausschlag des Instrumentes erhöht sich der zulässige Scheitelfaktor entsprechend.

### Grenze der Spitzenbewertung

Die Anzeigekehlennlinien in Bild 4 rechts weichen unterhalb von 1 V um so eher von der Geraden  $U_{\text{anz}} = \dot{U}/\sqrt{2}$  ab, je höher der Scheitelfaktor ist. Die Untergrenze der Spitzenbewertung läßt sich daher nicht gut durch einen minimalen Spitzenwert oder Anzeigewert definieren. Sie läßt sich aber auch nur in grober Näherung durch einen minimalen Effektivwert in Abhängigkeit vom zulässigen Bewertungsfehler angeben.

Für Scheitelfaktoren zwischen  $S = 2$  und  $S = 10$  erhält man aus Messungen mit Sinusbursts die in TABELLE 3 angegebenen Minimalwerte.

TABELLE 3: Untergrenze des Effektivwertes für Spitzenbewertung

Bewertungsfehler	-2 %	-5 %	-10 %	-20 %
$U_{\text{eff min}}$	500 mV	250 mV	140 mV	80 mV

Für Scheitelfaktoren unter 2 sind kleinere Werte zulässig. Für Spannungen unter 30 mV wird der Effektivwert gemessen, die Anzeige unterscheidet sich um den Faktor  $\sqrt{2}/S$  von der Anzeige im Spitzenbewertungsbereich.

Für Spannungen mit hohen Scheitelfaktoren über  $S = 10$  wird die Spitzenbewertung zunehmend schlechter, die minimalen Effektivwerte sind dann höher als nach Tabelle 2 anzusetzen. Das URV kann in den drei höchsten Teilbereichen 1, 3 und 10 V als Spitzenwert-Meßgerät benutzt werden. Dabei wird mit dem HF-Tastkopf der Spitze-Spitze-Wert des Wechselspannungsanteils gemessen und der Wert  $U_{\text{anz}} = U_{\text{ss}}/2 \sqrt{2}$  angezeigt. Mit dem HF-Durchgangskopf wird der negative Spitzenwert gemessen und der Wert  $U_{\text{anz}} = \dot{U}_n/\sqrt{2}$  angezeigt. Mit den kapazitiven Teilern zum Tastkopf und mit koaxialen Leistungs-Dämpfungsgliedern läßt sich der Spitzenwert-Meßbereich erweitern (TABELLE 4)\*. Bei Teilausschlag des Instrumentes verringert sich der zulässige Scheitelfaktor entsprechend.

Klaus H. Blankenburg

TABELLE 2: Maximal zulässiger Scheitelfaktor bei Vollausschlag für Bewertungsfehler von 2 % und 5 % (Effektivbewertung)

Teilbereich	Direkte Messung mit Tast- und Durchgangskopf			Messung mit 20-dB-Teiler			Messung mit 40-dB-Teiler		
	3 mV	10 mV	30 mV	30 mV	100 mV	300 mV	300 mV	1 V	3 V
Max. Scheitelfaktor für Bewertungsfehler +2 %	10	3	1,7	10	3	1,7	10	3	1,7
Max. Scheitelfaktor für Bewertungsfehler +5 %	13	4	2	13	4	2	13	4	2

TABELLE 4: Maximal zulässiger Scheitelfaktor bei Vollausschlag für Bewertungsfehler von 2 % und 5 % (Spitzenbewertung)

Teilbereich	Direkte Messung mit Tast- und Durchgangskopf			Messung mit 20-dB-Teiler			Messung mit 40-dB-Teiler		
	1 V	3 V	10 V	10 V	30 V	100 V	100 V	300 V	1000 V
Max. Scheitelfaktor für Bewertungsfehler -2 %	2,8	8,5	28	2,8	8,5	28	2,8	8,5	28
Max. Scheitelfaktor für Bewertungsfehler -5 %	5,6	17	56	5,6	17	56	5,6	17	56

### LITERATUR

- [1] Blankenburg, K. H.: Das neue URV – ein HF-DC-Millivoltmeter mit erweiterten Meßmöglichkeiten. Neues von Rohde & Schwarz (1973) Nr. 60, S. 9–12.
- [2] Blankenburg, K. H.: Meßwertgleichrichtung (I): Kurvenformbewertung und Gleichrichtfaktoren. Neues von Rohde & Schwarz (1975) Nr. 70, S. 21–24.
- [3] Blankenburg, K. H.: Meßwertgleichrichtung (II): Spitzenwert-, Mittelwert- und Quasi-effektivwert-Gleichrichter. Neues von Rohde & Schwarz (1975) Nr. 71, S. 22–25.
- [4] Blankenburg, K. H.: Messung des Effektivwertes von Wechselspannungen im Tonfrequenz- und Videobereich. Neues von Rohde & Schwarz (1976) Nr. 72, S. 23–25.

\* Für Frequenzen über 100 MHz sind Zusatzfehler zu berücksichtigen, die bisher nur ansatzweise untersucht wurden. Im Bereich der Spitzenbewertung steigt der Bewertungsfehler mit der Frequenz an, das bedeutet, daß in Tabelle 3 höhere Werte für den minimalen Effektivwert und in Tabelle 4 kleinere Werte für den maximalen Scheitelfaktor anzusetzen sind.