



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

210 992

Int.Cl.³

3(51) G 01 R 19/02

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 R/ 2441 685

(22) 21.10.82

(44) 27.06.84

(71) siehe (72)

(72) BUEHN, UWE, DR.-ING.; DD;

(54) **VERFAHREN ZUR DIGITALEN MESSUNG DES QUADRATISCHEN UND/ODER ARITHMETISCHEN MITTELWERTES**

(57) Das Verfahren zur digitalen Messung des quadratischen und/oder arithmetischen Mittelwertes von periodischen Wechselsignalen beliebiger Kurvenform, auch mit Gleichanteil ist in der Wechselstrommeßtechnik für höhere Frequenzen mit beliebig hoher Auflösung bei vertretbarer Meß- und Rechenzeit für Echtzeitbetrieb anwendbar. Die Erfindung basiert im wesentlichen auf mehreren parallel oder seriell laufende pegelgesteuerte Zeitmeßvorgänge, vorzugsweise mittels Auszählung hochgenauer Referenzsignale und anschließender Verrechnung nach speziellen Algorithmen. Fig. 1

Titel der Erfindung

Verfahren zur digitalen Messung des quadratischen und/oder arithmetischen Mittelwertes

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft die weitere Ausbildung des Verfahrens nach Hauptpatentanmeldung WP G 01 R/240 896.5 zur digitalen Messung des quadratischen und/oder des arithmetischen Mittelwertes von periodischen Wechselsignalen beliebiger Kurvenform mit Gleichanteil.

Hauptanwendungsgebiet ist die automatische elektronische Meßtechnik, insbesondere die automatische Funktionsprüfung in der Leiterplattenfertigung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Seit langer Zeit (W. Witt, D. Fränkel, Technisches Messen atm, 1976, Heft 11, Seite 341 ff) sind Verfahren zur digitalen Ermittlung des arithmetischen und/oder quadratischen Mittelwertes (Effektivwert) periodischer Zeitfunktionen bekannt, bei denen der Amplituden-Zeitfunktion in zeitlich äquidistanten Schritten Probenwerte entnommen werden, aus denen nach Analog-Digital-Wandlung und digitaler Zwischenspeicherung in einem schnellen Digitalrechner die Berechnung des arithmetischen und/oder quadratischen Mittelwertes nach der jeweiligen Definitionsformel erfolgt oder die linearen oder quadrierten Speicherwerte zu einem Näherungswert des Integrals der linearen oder quadrierten Zeitfunktion über eine Periode T weiterverarbeitet werden, beispielsweise mittels der bekannten Simpsonregel oder der Trapezregel.

Es sind weiterhin Verfahren zur ausschließlichen Ermittlung des quadratischen Mittelwertes bekannt (DE-OS 28 06 695), bei denen eine Periode der Amplituden-Zeitfunktion in N gleichgroße Zeitabschnitte $\Delta t = T/N$ geteilt wird, der Amplituden-Zeitfunktion zu den Zeitpunkten $n \cdot \Delta t = n \cdot T/N$ Probenwerte $f(nT/N)$ entnommen werden und der Effektivwert EW durch den Algorithmus

$$(EW)^2 = \frac{1}{N} \sum_{1}^N f^2 \left(\frac{n}{N} T \right)$$

ermittelt wird.

Es sind auch Verfahren zur ausschließlichen Ermittlung des quadratischen Mittelwertes bekannt (DD-WP 140 923, 146 659, 151 510, 151 511), bei denen am zu messenden Signal zuerst eine quadrierende Analog-Frequenzumsetzung bzw. Analog-Impulszahlumsetzung mit anschließender radizierender Impulszählung vorgenommen wird und die Ausgabe des Effektivwertes numerisch erfolgt.

Seit langer Zeit sind ferner Verfahren zur ausschließlichen Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes bekannt, bei denen in einem ersten Schritt mit Hilfe eines integrierenden Verstärkers das Integral über mehrere Perioden des zu messenden Signals gebildet wird und in einem zweiten Schritt der Speicherkondensator mit konstantem Strom entladen wird, wobei gleichzeitig die Entladezeit durch ein digitales Zählverfahren gemessen wird. Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe ist der sogenannte Zweiflanken- oder Dual-Slope-Umsetzer (R. Gößler: Schnelle AD-Umsetzer, Elektronik 1975, Heft 11, S. 86). Mit diesen Verfahren wird zwar in der Regel nur die störende Netzwechselspannung eliminiert, die dem Nutzsignal überlagert ist, jedoch ist die Anwendung des bekannten Verfahrens auf Signale beliebiger Frequenz prinzipiell möglich.

Ein entscheidender Nachteil der zuerst genannten Verfahren besteht darin, daß für ihre technische Realisierung ein hochschneller, hochauflösender Analog-Digital-Umsetzer benötigt

wird, der über eine ultraschnelle Abtast- und Halteschaltung verfügen muß, wenn der arithmetische und/oder quadratische Mittelwert von Zeitfunktionen ermittelt werden soll, deren Frequenzen im MHz-Gebiet liegen. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß zur Ermittlung des genäherten Integralwertes viele zeitaufwendige Rechenoperationen erforderlich sind, so daß die Auswertung grundsätzlich erst nach Zwischenspeicherung sämtlicher Probenwerte erfolgen kann und einen hohen Zeitaufwand erfordert. Eine mit Änderung der Meßgröße zeitlich schritt haltende Messung (Echtzeitverarbeitung) ist deshalb nicht möglich.

Der entscheidende Nachteil aller übrigen Verfahren besteht darin, daß sie entweder nur die Ermittlung des quadratischen Mittelwertes oder nur die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes gestatten, so daß zu einer vollständigen Beschreibung der Signalfunktion grundsätzlich zwei unterschiedliche Meßverfahren anzuwenden sind. Dabei haftet den zuletzt genannten Zweiflanken-Verfahren zur Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes der Nachteil an, daß die technische Realisierung der signalgesteuerten Aufintegrationszeit einen hohen Aufwand erfordert und die Anwendung wegen der endlichen Geschwindigkeit derzeitiger verfügbarer Operationsverstärker auf das KHz-Gebiet beschränkt bleibt.

Die Erfindung gemäß Hauptpatent verfolgt das Ziel, die Nachteile der bekannten Verfahren zur digitalen Effektivwertmessung mit AD-Umsetzung, insbesondere bei stark von der Sinusform abweichenden Signalen zu vermeiden und dabei eine hohe Auflösengenauigkeit bei höherer Signalfrequenz und kurzer Meß- und Rechenzeit zu ermöglichen. Im Hauptpatent wurde bereits ein Verfahren vorgeschlagen, das im Echtzeitbetrieb eine digitale Effektivwertmessung von periodischen Wechselsignalen beliebiger abszissensymmetrischer Kurvenform, auch mit Gleichanteil für höhere Grundfrequenzen gestattet, wobei eine superschnelle Abtast- und Halteschaltung sowie aufwendige AD-Umsetzer vermieden werden. Die Messung ist im wesentlichen auf eine pegelgesteuerte Zeitmessung zurückgeführt.

Die Erfindung gemäß Hauptpatent sieht dazu vor, daß der positive Spitzenwert A, der negative Spitzenwert B, die Periodendauer T und die höchste repräsentative spektrale Frequenzkomponente des Signals f_{\max} nach bekannten Meßverfahren digital ermittelt und gespeichert werden, daß eine Anzahl von $2(N-1)+1$, wobei $N \cong 0,75 \cdot T \cdot f_{\max}$ gewählt wird, unterschiedlicher Amplitudenpegel, die sich wie folgt ergeben:

$$\text{Nullpegel} \quad P_0 = \frac{A+B}{2}$$

$$\text{positive Pegel} \quad P_n^+ = \frac{A+B}{2} + \frac{A-B}{2} \sqrt{\frac{n}{N}} \quad n = 1, 2, \dots, N-1$$

$$\text{negative Pegel} \quad P_n^- = \frac{A+B}{2} - \frac{A-B}{2} \sqrt{\frac{n}{N}} \quad N \geq 2$$

mit dem Signalmomentanwert während einer oder mehrerer Perioden verglichen werden, wobei die Zeitabschnitte t_n^+ ; t_n^- während der der Signalmomentanwert innerhalb einer Periode positiver als der jeweilige positive Pegel P_n^+ bzw. negativer als der jeweilige negative Pegel P_n^- ist, digital gemessen und gespeichert werden und daß der Effektivwert EW der Gesamtfunktion mittels bekannter Rechenverfahren nach folgendem Algorithmus

$$(\text{EW})^2 = \left(\frac{A-B}{2}\right)^2 \frac{\frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n^+}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n^-}{T}}{N} + \left(\frac{A+B}{2}\right)^2$$

gebildet wird.

Der Nachteil des im Hauptpatent vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, daß es auf Signalformen beschränkt ist, die zwar einen beliebigen Kurvenverlauf besitzen können, aber abszissensymmetrisch sein müssen.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung verfolgt das Ziel, die Nachteile der bekannten Verfahren zur digitalen Ermittlung des arithmetischen oder

quadratischen Mittelwertes zu vermeiden, insbesondere die Beschränkung auf einen einzigen Mittelwerttyp, die Beschränkung auf tiefe Frequenzen sowie die Beschränkung auf abszissensymmetrische Funktionstypen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Ausgehend von obiger Zielstellung besteht die Aufgabe darin, das Verfahren gemäß Hauptpatent weiter auszubilden, so daß im Echtzeitbetrieb eine digitale Ermittlung des quadratischen und/oder arithmetischen Mittelwertes von periodischen Wechselsignalen beliebiger Kurvenform mit Gleichanteil für höhere Grundfrequenzen ermöglicht wird und ein ultraschneller Abtast- und Haltevorgang und eine aufwendige konventionelle Analog-Digitalumsetzung vermieden werden, wobei die Messung im wesentlichen auf eine pegelgesteuerte Zeitmessung zurückgeführt ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe in weiterer Ausbildung des Verfahrens gemäß Hauptpatent derart gelöst, daß in einer ersten Folge von Meßschritten die Ermittlung des Effektivwertes (EWW) des reinen, mittels kapazitiver Trennung vom Gleichanteil befreiten Wechselsignals derart erfolgt, daß in Abhängigkeit vom positiven Spitzenwert \bar{A} und negativen Spitzenwert \bar{B} eine Anzahl N' positiver Pegel \bar{p}_n^+ und eine Anzahl M' negativer Pegel \bar{p}_m^- , die sich wie folgt ergeben

$$\bar{p}_n^+ = \bar{A} \sqrt{\frac{n}{N'}} \quad n = 0, 1, \dots, N'-1$$

$$\bar{p}_m^- = \bar{B} \sqrt{\frac{m}{M'}} \quad m = 1, 2, \dots, M'-1$$

gewählt wird, der Effektivwert durch den Algorithmus

$$(\text{EWW})^2 = \frac{\bar{A}^2}{N'} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N'-1} \frac{t_n^+}{T} \right] + \frac{\bar{B}^2}{M'} \left[0,5 \frac{T-t_0}{T} + \sum_{m=1}^{M'-1} \frac{t_m^-}{T} \right]$$

gebildet wird, in einer zweiten Folge von Meßschritten die

Messung des Signals mit Gleichanteil gemäß Hauptpatent erfolgt, wobei für den Fall eines negativen Spitzenwertes $B \geq 0$ nur eine Anzahl N positiver Pegelstufen, die sich wie folgt ergeben

$$p_n = A \sqrt{\frac{n}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

und für den Fall eines negativen Spitzenwertes $B < 0$, eine Anzahl N positiver Pegel p_n^+ und eine Anzahl M negativer Pegel p_m^- , die sich wie folgt ergeben

$$p_n^+ = A \sqrt{\frac{n}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

$$p_m^- = B \sqrt{\frac{m}{M}} \quad m = 1, 2, \dots, M-1$$

gewählt werden und der Effektivwert des Gesamtsignals je nach Vorzeichen des negativen Spitzenwertes B durch einen der beiden Algorithmen

$$(\text{EW})^2 = \frac{A^2}{N} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n}{T} \right] \quad \text{für } B \geq 0$$

$$(\text{EW})^2 = \frac{A^2}{N} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n^+}{T} \right] + \frac{B^2}{M} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{m=1}^{M-1} \frac{t_m^-}{T} \right] \quad \text{für } B < 0$$

gebildet wird und in einem letzten Auswertungsschritt der arithmetische Mittelwert AM durch den Algorithmus

$$(\text{AM})^2 = (\text{EW})^2 - (\text{EWW})^2$$

gebildet wird.

Zur Ermittlung zweckmäßiger Kenngrößen N und M für die Pegelanzahl sieht die erfindungsgemäße Ausbildung des Verfahrens vor, daß ein Hilfsergebnis des reinen Wechselgrößen-Effektivwertes (EW_{H}) nur unter Berücksichtigung jeder zweiten Teilzeit mit geraden Indizes und den halben Werten der Kenngrößen N/2 und M/2 gebildet wird, dessen relative Ergebnisabweichung (F) zum mit allen Teilzeiten ermittelten Ergebnis (EWW)

$$(F = \frac{EW_{H} - EWW}{EWW})$$

gebildet wird, wobei die ursprünglich gewählte Kenngröße N;M vergrößert wird, wenn diese relative Ergebnisabweichung (F) einen vorgegebenen Restfehler übersteigt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Beispiel erläutert werden.

Als periodische Signalfunktion wird, wie in Figur 1 dargestellt, eine Folge von positiven Dreiecksimpulsen gewählt. Die Bestimmung des quadratischen EW und arithmetischen Mittelwertes AM ist mit den gegenwärtig bekannten technischen Mitteln für diesen ausgefallenen Funktionstyp nur im KHz-Bereich möglich.

Die nach bekannten Verfahren ermittelte Periodendauer T beträgt

$$T = 10 \mu s \quad (f_0 = 100 \text{ KHz})$$

Erfindungsgemäß wird während der ersten Folge von Verfahrensschritten der Gleichanteil abgetrennt. Dabei ergibt sich der in Figur 2 dargestellte Signalverlauf, wobei sich die Signalfunktion um den arithmetischen Mittelwert AM ins Negative verschiebt.

Der positive Spitzenwert \bar{A} und der negative Spitzenwert \bar{B} mögen nach bekannten Verfahren wie folgt ermittelt worden sein:

$$\bar{A} = + 3 \text{ V} \quad \bar{B} = - 1 \text{ V}$$

Im ersten Versuch seien die Pegelkennzahlen $N' = M' = 8$ gewählt. Dann folgt erfindungsgemäß für die Pegelgrößen in Volt

$$p_0 = 0$$

$$\bar{p}_1^+ = 3 \sqrt{1/8} = 1,0607$$

$$\bar{p}_1^- = 1 \cdot \sqrt{1/8} = 0,3536$$

$$\bar{p}_2^+ = 3 \sqrt{2/8} = 1,5000$$

$$\bar{p}_2^- = 1 \cdot \sqrt{2/8} = 0,5000$$

⋮

⋮

$$\bar{p}_7^+ = 3 \sqrt{7/8} = 2,8062$$

$$\bar{p}_7^- = 1 \cdot \sqrt{7/8} = 0,9354$$

Der Signalverlauf wird nunmehr mit diesen Pegeln verglichen. Dabei werden Zeitmeßvorgänge bei jedem Pegel ausgelöst, z.B. sobald der Signalmomentanwert positiver als ein positiver Pegel P_n^+ oder negativer als ein negativer Pegel P_n^- ist. Die dadurch markierten Zeitabschnitte sind mit t_0, t_1, \dots, t_7 bezeichnet und aus Figur 2 ersichtlich.

Die durch Auszählen der Impulse eines quarzstabilisierten 100 MHz-Taktgenerators über M Perioden der Signalfrequenz ermittelten, auf die Signalperiode bezogenen Ergebnisse mögen wie folgt lauten:

$$t_0/T = 0,3750$$

$$t_1^+/T = 0,2424$$

$$t_1^-/T = 0,5808$$

$$t_2^+/T = 0,1875$$

$$t_2^-/T = 0,5625$$

$$t_3^+/T = 0,1454$$

$$t_3^-/T = 0,5485$$

$$t_4^+/T = 0,1098$$

$$t_4^-/T = 0,5366$$

$$t_5^+/T = 0,0785$$

$$t_5^-/T = 0,5262$$

$$t_6^+/T = 0,0502$$

$$t_6^-/T = 0,5168$$

$$t_7^+/T = 0,0242$$

$$t_7^-/T = 0,5081$$

$$\sum_{n=1}^7 t_n^+/T = 0,8380$$

$$\sum_{m=1}^7 t_m^-/T = 3,7795$$

Daraus folgt erfindungsgemäß für den quadratischen Mittelwert (Effektivwert) der reinen Wechselgröße in V^2

$$\begin{aligned}
 (EWW)^2 &= \frac{A^2}{N^2} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^7 \frac{t_n^+}{T} \right] + \frac{B^2}{M^2} \left[0,5 \frac{T-t_0}{T} + \sum_{m=1}^7 \frac{t_m^-}{T} \right] \\
 &= \frac{3^2}{8} \left[\frac{0,3750}{2} + 0,8380 \right] + \frac{1^2}{8} \left[\frac{0,6250}{2} + 3,7795 \right] \\
 &= (EWW_p)^2 + (EWW_n)^2 = 1,1537 + 0,5115 = \underline{1,6652} \text{ V}^2
 \end{aligned}$$

(bzw. $EWW = 1,2904 \text{ V}$)

Darin stellen EWW_p und EWW_n die Effektivwerte des positiven bzw. negativen Signalanteils dar. In der zweiten Folge der Verfahrensschritte wird erfindungsgemäß die Gesamtfunktion bewertet. Dabei seien zunächst der positive Spitzenwert A und der negative Spitzenwert B zu

$$A = 4 \text{ V} \quad B = 0$$

ermittelt worden sein. Um mit etwa gleicher Anzahl von Probenwerten zu arbeiten, wird in diesem Fall $N = 16$ gewählt.

Dann folgt erfindungsgemäß für die Pegel in Volt

$$\begin{aligned}
 p_0 &= 0 \\
 p_1 &= 4 \cdot \sqrt{1/16} = 1 \\
 p_2 &= 4 \cdot \sqrt{2/16} = 1,4142 \\
 &\vdots \\
 p_{15} &= 4 \cdot \sqrt{15/16} = 3,8730
 \end{aligned}$$

Die in gleicher Weise wie in der ersten Folge der Verfahrensschritte ermittelten, auf T bezogenen Zeitabschnitte seien gegeben durch

$$\begin{array}{ll}
 t_0 / T = 0,5000 & t_1 / T = 0,3750 \\
 t_2 / T = 0,3232 & t_3 / T = 0,2835 \\
 t_4 / T = 0,2500 & t_5 / T = 0,2205
 \end{array}$$

$$t_6 / T = 0,1938$$

$$t_7 / T = 0,1693$$

$$t_8 / T = 0,1465$$

$$t_9 / T = 0,1250$$

$$t_{10} / T = 0,1047$$

$$t_{11} / T = 0,0854$$

$$t_{12} / T = 0,0670$$

$$t_{13} / T = 0,0493$$

$$t_{14} / T = 0,0323$$

$$t_{15} / T = 0,0159$$

$$\sum_{n=1}^{15} \frac{t_n}{T^n} = 2,4414$$

Daraus folgt erfindungsgemäß für den Effektivwert der Gesamtfunktion in V^2

$$\begin{aligned} (EW)^2 &= \frac{A^2}{N} \left[0,5 \frac{t_0}{T^0} + \sum_{n=1}^{15} \frac{t_n}{T^n} \right] = \frac{4^2}{16} \left[\frac{0,5}{2} + 2,4414 \right] \\ &= 2,6914 \quad (\text{bzw. } EW = 1,6405 \text{ V}) \end{aligned}$$

Aus beiden Teilergebnissen wird nun der arithmetische Mittelwert gebildet:

$$(AM)^2 = (EW)^2 - (EWW)^2 = 2,6914 - 1,6652 = 1,0262 \text{ V}^2$$

bzw.

$$AM = \sqrt{1,0262} = \underline{1,013 \text{ V}}$$

Zur Abschätzung des Restfehlers der Effektivwerte kann man von dem empirisch ermittelten Gesetz ausgehen, daß für alle technisch interessanten Funktionen (einschließlich einer Folge von Stoßimpulsen als Worst-Case-Fall) der Restfehler kleiner ist als die bei Verdopplung der Pegelanzahl auftretende relative Ergebnisdifferenz. Zu diesem Zweck bildet man aus den obigen Meßwerten Hilfsergebnisse mit der halben Pegelanzahl durch Weglassen aller Zeit-Meßergebnisse mit ungeraden Indizes. Wie hier nicht im einzelnen ausgeführt werden soll, erhält man folgende Hilfsergebnisse

$$\begin{array}{ll} (\text{EWW})_H^2 = 1,6859 & \text{EWW}_H = 1,2984 \\ (\text{EW})_H^2 = 2,735 & \text{EW}_H = 1,6538 \\ (\text{AM})_H^2 = 1,0491 & \text{AM}_H = 1,0243 \end{array}$$

Daraus folgt für die Fehlerabschätzung

$$\text{EWW: } F_1 \leq \frac{1,2984 - 1,2904}{1,2904} = 0,62 \%$$

$$\text{EW: } F_2 \leq \frac{1,6538 - 1,6405}{1,6405} = 0,81 \%$$

Da die Fehler der Quadrate $(\text{EWW})^2$, $(\text{EW})^2$ etwa $2F_1$ bzw. $2F_2$ betragen, folgt für den max. Fehler von AM im ungünstigsten Fall

$$\text{AM: } F_3 \leq \frac{2/F_1 + 2/F_2}{2} = /F_1/+/F_2/ = 1,43 \%$$

Der tatsächliche Fehler des arithmetischen Mittelwertes beträgt, wie man sofort erkennt, 1,3 %. Die tatsächlichen Fehler der quadratischen Mittelwerte liegen dagegen weit unter den angegebenen Abschätzungen. Die im vorliegenden Beispiel gewählte große Pegelanzahl ist durch den hohen Oberwellengehalt der gewählten Funktion bedingt. Für den Fall einer sinusähnlichen Funktion kann mit einer wesentlich kleineren Pegelanzahl gearbeitet werden.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur digitalen Messung des quadratischen und arithmetischen Mittelwertes von periodischen, auch un-symmetrischen Wechselsignalen beliebiger Kurvenform, auch mit Gleichanteil gemäß Hauptpatent (WP G01R/240 89615), gekennzeichnet dadurch, daß in einer ersten Folge von Meßschritten die Ermittlung des Effektivwertes (EWW) des reinen, mittels kapazitiver Trennung vom Gleichanteil befreiten Wechselsignals derart erfolgt, daß in Abhängigkeit vom positiven Spitzenwert \bar{A} und negativen Spitzenwert \bar{B} eine Anzahl N' positiver Pegel \bar{p}_n^+ und eine Anzahl M' negativer Pegel \bar{p}_m^- , die sich wie folgt ergeben

$$\bar{p}_n^+ = \bar{A} \sqrt{\frac{n}{N'}} \quad n = 0, 1, \dots, N'-1$$

$$\bar{p}_m^- = \bar{B} \sqrt{\frac{m}{M'}} \quad m = 1, 2, \dots, M'-1$$

gewählt wird, der Effektivwert durch den Algorithmus

$$(EWW)^2 = \frac{\bar{A}^2}{N'} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N'-1} \frac{t_n^+}{T} \right] + \frac{\bar{B}^2}{M'} \left[0,5 \frac{T-t_0}{T} + \sum_{m=1}^{M'-1} \frac{t_m^-}{T} \right]$$

gebildet wird, in einer zweiten Folge von Meßschritten die Messung des Signals mit Gleichanteil gemäß Hauptpatent erfolgt, wobei für den Fall eines negativen Spitzenwertes $B \geq 0$ nur eine Anzahl N positiver Pegelstufen, die sich wie folgt ergeben

$$p_n = A \sqrt{\frac{n}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

und für den Fall eines negativen Spitzenwertes $B < 0$, eine Anzahl N positiver Pegel p_n^+ und eine Anzahl M negativer Pegel p_m^- , die sich wie folgt ergeben

$$p_n^+ = A \sqrt{\frac{n}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

$$p_m^- = B \sqrt{\frac{m}{M}} \quad m = 1, 2, \dots, M-1$$

gewählt werden und der Effektivwert des Gesamtsignals je nach Vorzeichen des negativen Spitzenwertes B durch einen der beiden Algorithmen

$$(EW)^2 = \frac{A^2}{N} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n}{T} \right] \quad \text{für } B \geq 0$$

$$(EW)^2 = \frac{A^2}{N} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{t_n^+}{T} \right] + \frac{B^2}{M} \left[0,5 \frac{t_0}{T} + \sum_{m=1}^{M-1} \frac{t_m^-}{T} \right] \quad \text{für } B < 0$$

gebildet wird und in einem letzten Auswertungsschritt der arithmetische Mittelwert AM durch den Algorithmus

$$(AM)^2 = (EW)^2 - (EWW)^2$$

gebildet wird.

- Verfahren zur Ermittlung zweckmäßiger Kenngrößen N und M für die Pegelanzahl gemäß Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß ein Hilfsergebnis des reinen Wechselgrößen-Effektivwertes (EWW_H) nur unter Berücksichtigung jeder zweiten Teilzeit mit geraden Indizes ($t_0; t_2^+; t_2^-; t_4^+; t_4^-; \dots$) und den halben Werten der Kenngrößen $N/2$ und $M/2$ gebildet wird, dessen relative Ergebnisabweichung (F) zum mit allen Teilzeiten ermittelten Ergebnis (EWW)

$$(F_1 = \frac{EWW_H - EWW}{EWW})$$

gebildet wird, wobei die ursprünglich gewählte Kenngröße N;M vergrößert wird, wenn diese relative Ergebnisabweichung (F) einen vorgegebenen Restfehler übersteigt.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

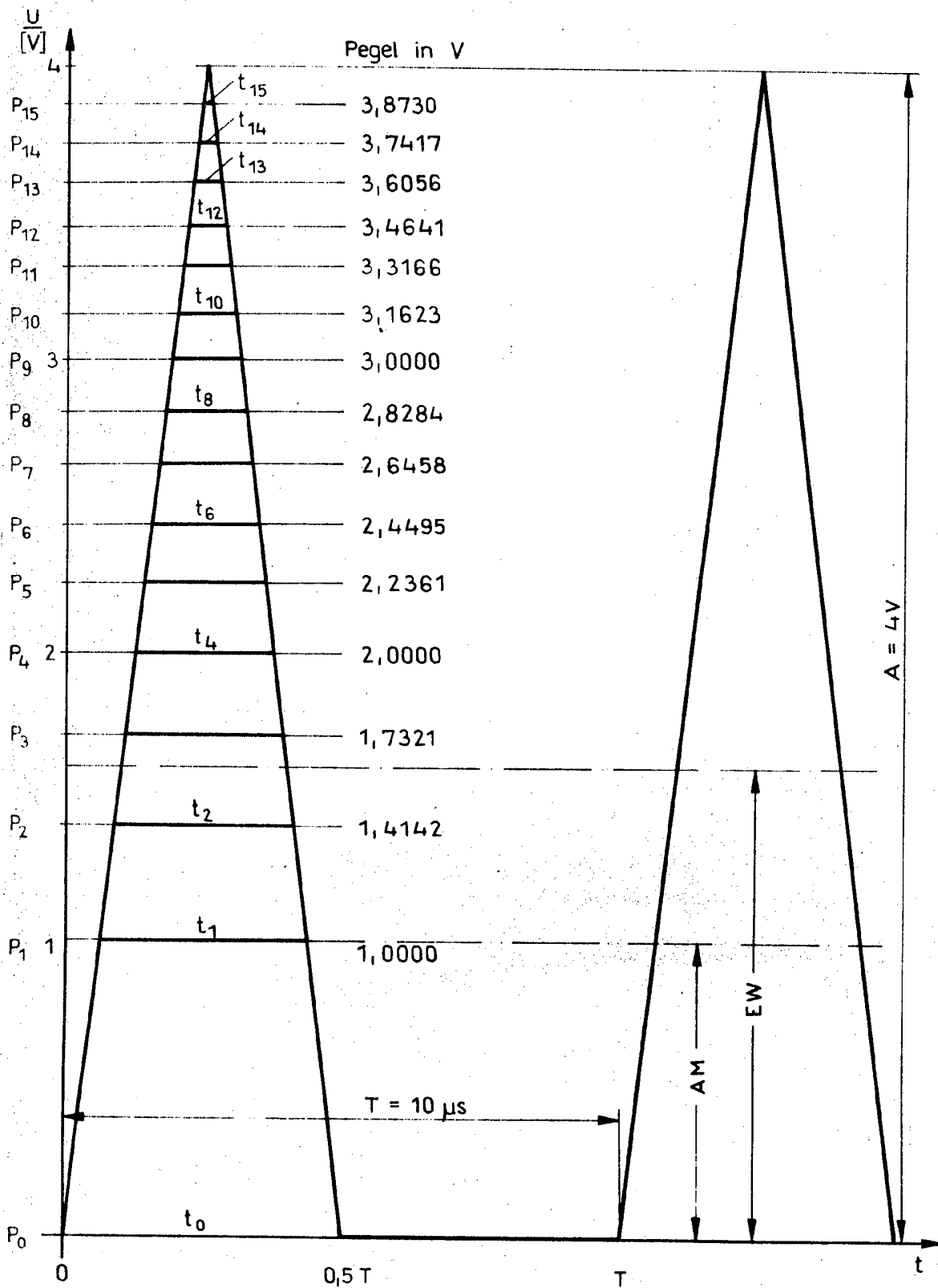


Fig. 1

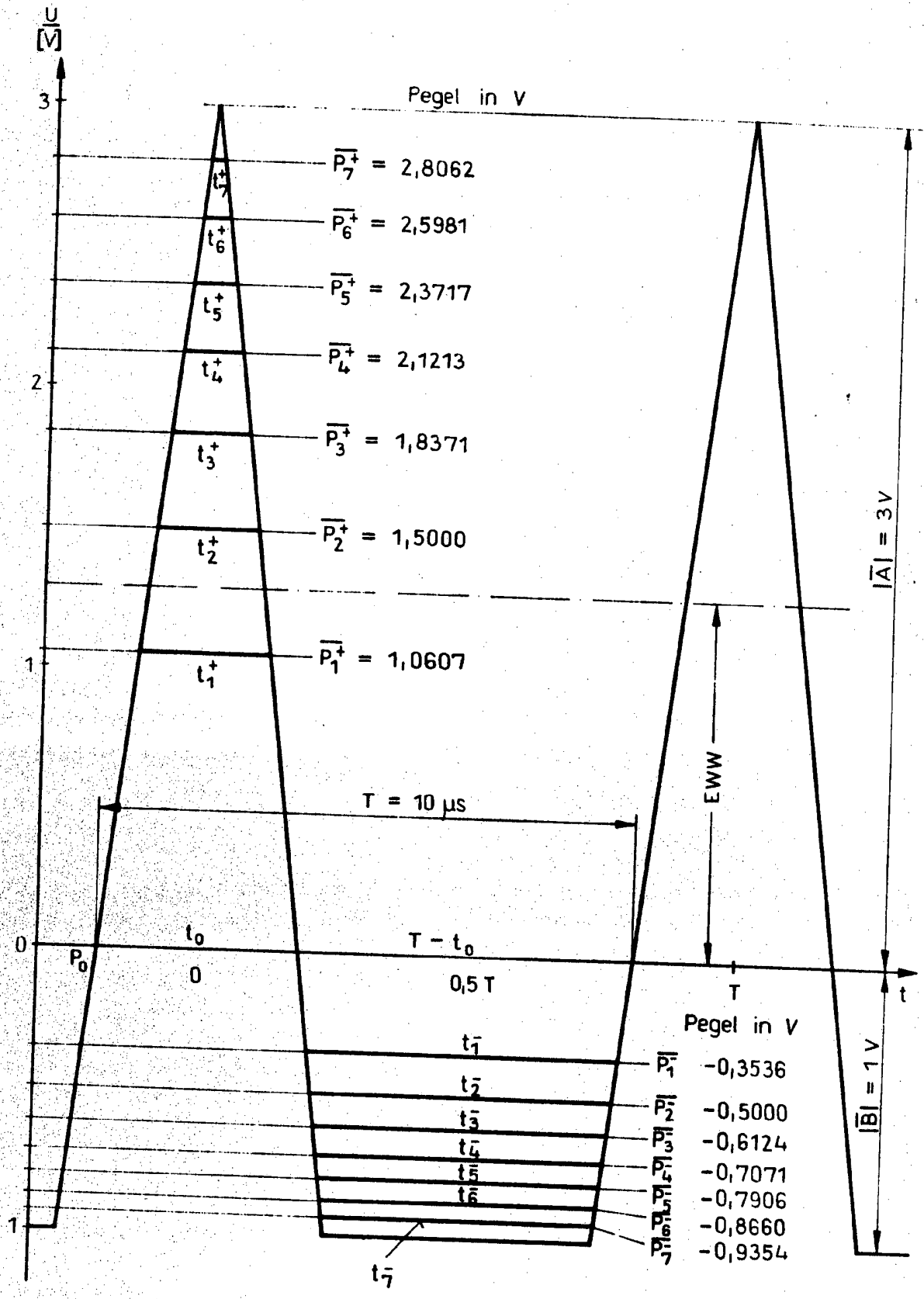


Fig. 2