



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 106 652.6**

(22) Anmeldetag: **25.06.2013**

(43) Offenlegungstag: **08.01.2015**

(51) Int Cl.: **G06G 7/161 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Huhn-Rohrbacher GmbH & Co. KG, 75179
Pforzheim, DE**

(72) Erfinder:
Wölfel, Werner, 70499 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:
**TWELMEIER MOMMER & PARTNER Patent- und
Rechtsanwälte mbB, 75172 Pforzheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 2009 / 0 243 744 A1

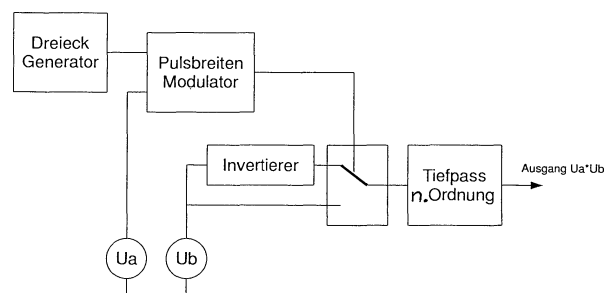
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Multiplizieren von zwei elektrischen Spannungen**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zum Multiplizieren von zwei elektrischen Spannungen U_A und U_B miteinander durch

- Erzeugen einer symmetrischen Dreieck-Wechselspannung mit einer gleichbleibenden Frequenz f und einer gleichbleibenden Amplitude AMM ,
- Umwandeln der Spannung U_A mittels der Dreieck-Wechselspannung in ein pulsbreitenmoduliertes Signal durch Modulieren der Dreieck-Wechselspannung mit der Spannung U_A unter der Randbedingung, dass bei einer Spannung $U_A = 0$ Volt im pulsbreitenmodulierten Signal ein Tastverhältnis von 50% erhalten wird,
- Invertieren der Spannung U_B zur Erzeugung einer Spannung $-U_B$,
- Umschalten sowohl der Spannung U_B als auch der invertierten Spannung $-U_B$ mit dem pulsbreitenmodulierten Signal auf einen gemeinsamen elektrischen Pol,
- Tiefpassfiltern des am gemeinsamen Pol auftretenden Signals,
- Ausgeben des gefilterten Signals.



Beschreibung

[0001] Analoge Multiplizierer arbeiten häufig so, dass die miteinander zu multiplizierenden Spannungen logarithmiert, die logarithmierten Werte addiert und anschließend zur Bildung des Produkts wieder exponiert werden. Solche analogen Multiplizierer können nur positive Spannungen miteinander multiplizieren, eignen sich also nur für das Multiplizieren in einem einzigen Quadranten, weil der Logarithmus einer negativen Zahl nicht reell ist.

[0002] Mit der vorliegenden Erfindung soll ein analoger Multiplizierer geschaffen werden, welcher nicht nur positive Spannungen, sondern auch positive und negative Spannungen miteinander multiplizieren und deshalb in allen vier Quadranten arbeiten kann.

[0003] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit dem im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahren gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0004] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden zwei elektrische Spannungen U_A und U_B miteinander multipliziert, indem zunächst eine symmetrische Dreieck-Wechselspannung mit einer gleichbleibenden Frequenz f und einer gleichbleibenden Amplitude AM erzeugt wird. Generatoren zur Erzeugung einer symmetrischen Dreieck-Wechselspannung sind dem Fachmann bekannt.

[0005] Von den beiden miteinander zu multiplizierenden Spannungen U_A und U_B wird eine Spannung U_A mittels der Dreieck-Wechselspannung in ein pulsbreitenmoduliertes Signal umgewandelt, indem die Dreieck-Wechselspannung mit der Spannung U_A multipliziert wird, und zwar unter der Randbedingung, dass bei einer Spannung $U_A = 0$ Volt im pulsbreitenmodulierten Signal ein Tastverhältnis von 50% erhalten wird. Das ist bei einer symmetrischen Dreieck-Wechselspannung der Fall.

[0006] Die andere Spannung U_B der beiden miteinander zu multiplizierenden Spannungen U_A und U_B wird zur Erzeugung einer Spannung $-U_B$ invertiert. Sowohl die Spannung U_B als auch die invertierte Spannung $-U_B$ werden für das weitere Verfahren benutzt, und zwar werden sie mittels eines Wechselschalters abwechselnd auf einen gemeinsamen elektrischen Pol geschaltet. Mit anderen Worten: Mit dem pulsbreitenmodulierten Signal wird ein einpoliger Wechselschalter angesteuert, welcher in dem vom pulsbreitenmodulierten Signal vorgegebenen Takt abwechselnd die Spannung U_B und ihre invertierte Spannung auf den gemeinsamen elektrischen Pol des Wechselschalters schaltet.

[0007] Abschließend wird das am gemeinsamen Pol auftretende Signal einer Tiefpassfilterung unterzogen

und dann ausgegeben. Die ausgegebene Spannung U_P ist proportional zum Produkt der Spannungen U_A und U_B :

$$U_P = k \cdot U_A \cdot U_B,$$

worin der Proportionalitätsfaktor k eine Konstante ist, welche von der Amplitude der Dreieck-Wechselspannung abhängt und durch Wahl der Amplitude AM eingestellt werden kann.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt mit einem preiswerten Schaltungsaufbau eine sehr genaue Multiplikation von Spannungssignalen in allen vier Quadranten, das heißt es können positive Spannungswerte miteinander multipliziert werden, es können negative Spannungswerte miteinander multipliziert werden und es können positive Spannungswerte mit negativen Spannungswerten multipliziert werden. Die Genauigkeit der Multiplikation ist um so größer, je besser die Linearität der Dreiecksspannung ist.

[0009] Welche Frequenz für die Dreiecksspannung gewählt wird, richtet sich nach der Anwendung. Mit zunehmender Frequenz kann die Bandbreite eines erfindungsgemäß arbeitenden Multiplizierers erhöht werden.

[0010] Für das Umschalten der Spannung U_B wird bevorzugt ein spannungsgesteuerter einpoliger Wechselschalter mit einer Bandbreite von wenigstens 10 MHz, noch besser von wenigstens 80 MHz verwendet.

[0011] Die Ordnungszahl des Tiefpassfilters hängt von der Anwendung ab. Für die Anwendung in Stromversorgungen, zum Einstellen der Amplitude eines 50 Hz Signals, genügt bereits ein Tiefpassfilter erster Ordnung, d. h. ein R-C-Glied. Das Tiefpassfilter soll für die zu multiplizierenden Frequenzen möglichst ohne Phasenverschiebung arbeiten und eine hohe Steigerung der Dämpfungskurve aufweisen. Solche Filter sind im Handel erhältlich.

[0012] Vorzugsweise wird ein Tiefpassfilter von wenigstens zweiter Ordnung verwendet.

[0013] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel ist in den beigefügten schematischen Zeichnungen dargestellt.

[0014] Fig. 1 ist ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0015] Fig. 2 ist ein Ausführungsbeispiel eines Dreieck-Generators zur Verwendung in der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 1,

[0016] Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung, welche mit der Schaltungsanordnung aus Fig. 2 zur Bildung eines Multiplizierers zusammenarbeitet, und

[0017] Fig. 4 zeigt grafisch dargestellt das Ergebnis einer erfindungsgemäßen Multiplikation zweier Spannungen und den dabei auftretenden Fehler.

[0018] Die in Fig. 1 dargestellte Schaltungsanordnung besteht aus einem Dreieck-Generator 1, einem Pulsbreitenmodulator 2, einem Invertierer 3, einem vom Pulsbreitenmodulator 2 gesteuerten einpoligen Wechselschalter 4 und einem Tiefpassfilter 5 n-ter Ordnung, wobei n eine ganze Zahl ist.

[0019] Der Dreieck-Generator 1 erzeugt eine symmetrische Dreieck-Wechselspannung mit konstanter Frequenz f und konstanter Amplitude AM, welche im Pulsbreitenmodulator 2 mit einer Spannung U_A moduliert wird, welche mit einer zweiten Spannung U_B multipliziert werden soll.

[0020] Der einpolige Wechselschalter 4 hat drei Eingänge und einen Ausgang. Einem ersten Eingang wird die Spannung U_B direkt zugeführt. Einem zweiten Eingang wird die durch den Invertierer 3 invertierte Spannung U_B zugeführt. Der dritte Eingang ist ein Steuereingang, welchem das Ausgangssignal des Pulsbreitenmodulators 2 zugeführt wird. Der Wechselschalter 4 wird im Takt des vom Pulsbreitenmodulator 2 gelieferten Signals zwischen dem ersten Eingang und dem zweiten Eingang hin und her geschaltet, so dass am Ausgang des Wechselschalters 4 abwechselnd die Spannung U_B und die invertierte Spannung $-U_B$ erscheint. Das Ausgangssignal des Wechselschalters 4 wird durch das Tiefpassfilter 5 einer Tiefpassfilterung unterzogen und liefert ein Ausgangssignal, welches dem Produkt $U_A \cdot U_B$ proportional oder gleich ist.

[0021] Der in Fig. 2 dargestellte Dreieck-Generator wird mit Hilfe von zwei Spannungsquellen V1 und V2 mit einer Spannung von ± 5 Volt betrieben. Mittels eines Spannungsreferenzelements 6 und einem Operationsverstärker 7, wird eine Referenzspannung erzeugt, die als Eingangsspannung und als Schaltschwelle für einen Umschaltkomparator 8 dient, welcher über einen Wechselschalter 9 mit dem Spannungsreferenzelement 6, und dem Ausgang des Operationsverstärkers 7 verbunden ist. Für einfache Anwendungen kann als Spannungsreferenzelement 6 eine Zenerdiode verwendet werden. Ist der Wechselschalter 9 geschlossen, liegt an dem Widerstand R20 eine Spannung von z. B. 2,5 Volt an. Der nicht invertierende Integrator 11 integriert die Eingangsspannung in Richtung der Betriebsspannung von +5 Volt. Ist eine Spannung von 2,5 Volt erreicht, so schaltet der Komparator 8 um und legt über den Wechselschalter 9 eine Spannung von -2,5 Volt an den

Integrator 11 und gleichzeitig auch an den Eingang des Komparators 8. Es ist deshalb keine Hysterese notwendig. Nun integriert der Integrator 11 in Richtung -5 Volt. Wird am Ausgang des Integrators 11 eine Spannung von -2,5 Volt erreicht, so schaltet der Komparator 8 wieder um und der Vorgang beginnt erneut von vorne.

[0022] Die Linearität der Integrationsrampe und die Integrationsrampe selbst sind von den Toleranzen der Widerstände und von der Referenzspannung abhängig. Die Linearität der Integrationsrampe kann deshalb sehr genau ausgebildet werden. Die Werte der Eckpunkte der Dreiecksspannung sind nur vom Komparator 8 und von der Referenzspannung abhängig und lassen sich deshalb sehr genau einstellen.

[0023] Die in Fig. 3 dargestellte Schaltungsanordnung ist an den Kontaktpunkten 12 und 13 mit dem Dreieck-Generator 1 aus Fig. 2 verbunden und wird demnach auch mit einer Spannung von ± 5 Volt betrieben. Die beiden miteinander zu multiplizierenden Spannungen U_A und U_B werden der Schaltungsanordnung über zwei getrennte Eingänge A und B zugeführt. Dem Pulsbreitenmodulator 2 wird einerseits die Dreiecksspannung über einen Eingang 14 und die Spannung U_A über den Eingang A zugeführt. Der Pulsbreitenmodulator 2 vergleicht die Spannung am Eingang A mit der vom Dreieck-Generator 1 kommenden Dreieck-Wechselspannung und erzeugt daraus durch Pulsbreitenmodulation die Steuerspannung für den Wechselschalter 4, welchem die mit U_A zu multiplizierende Spannung U_B einmal über den Operationsverstärker 15 nicht invertiert und über den invertierenden Operationsverstärker 16 invertiert zugeführt wird. Im Takt des pulsbreitenmodulierten Signals legt der Wechselschalter 4 abwechselnd die Spannung U_B und die invertierte Spannung $-U_B$ auf seinen Ausgang, der mit dem Eingang eines Tiefpassfilters 5 siebter Ordnung verbunden ist. An dessen Ausgang 17 erscheint ein Signal, welches dem Produkt aus der Spannung U_A und der Spannung U_B proportional ist. Wenn die Spannung U_A am Eingang A Null ist, ist das Tastverhältnis am Ausgang des Pulsbreitenmodulators 2 genau 50% und die Spannung U_B am Eingang B wird ebenfalls mit 50% umgeschaltet. Dann liegt am Ausgang 17 des Tiefpassfilters 5 auch keine Spannung an.

[0024] Wenn die Spannung U_B am Eingang B Null ist, kann das Tastverhältnis und damit die Spannung U_A am Eingang A in den durch die Amplitude der Dreiecksspannung gezogenen Grenzen beliebig sein, es wird mit dem Wechselschalter 4 zwischen Null hin und her geschaltet, so dass auch die Spannung am Ausgang 17 des Tiefpassfilters 5 Null ist. Die Spannung U_A kann maximal der Amplitude des Dreieckssignals entsprechen, die Obergrenze für die Spannung U_B hängt im Beispiel der Fig. 3 von der Betriebsspannung der Operationsverstärker 14 und 15

ab. Werden als Operationsverstärker **14** und **15** Rail-to-Rail Operationsverstärker vorgesehen, so ist die maximale Eingangsspannung U_B gleich der Betriebsspannung der Operationsverstärker.

[0025] Die Ausgangsspannung am Ausgang **17** ergibt sich zu $U_P = U_A \cdot U_B \cdot k$. Der Proportionalitätsfaktor k wird durch Wahl der Amplitude AM der Dreiecksspannung vorzugsweise auf 0,5 eingestellt. Damit lässt sich erreichen, dass die Ausgangsspannung in derselben Größe wie die Eingangsspannung liegt.

[0026] Als Wechselschalter **4** eignet sich z. B. der Anlogschalter TS12A12511 von Texas Instruments, welcher sich für Spannungen von 0 bis 12 Volt oder von -6 Volt bis +6 Volt eignet und eine Bandbreite von mehr als 90 MHz aufweist.

[0027] Die Bandbreite des erfindungsgemäß arbeitenden Multiplizierers hängt von den Eigenschaften des verwendeten Tiefpassfilters, der verwendeten Operationsverstärker und der Frequenz der verwendeten Dreiecksspannung ab.

[0028] Wenn man als Tiefpassfilter z. B. das Modell LTC1566-1 der Linear Technology Corporation in Milpitas (CA), U.S.A., einsetzt, ein Filter siebter Ordnung mit einer zwischen 2 MHz und 3 MHz liegenden Grenzfrequenz, und als Frequenz der Dreiecksspannung $f = 10$ MHz wählt, dann kann man einen Multiplizierer mit einer Bandbreite von 2 MHz verwirklichen.

[0029] **Fig. 4** zeigt ein einfaches Beispiel für die Multiplikation von zwei dreieckförmigen symmetrischen Spannungssignalen. **Fig. 4** zeigt unten eine Eingangsspannung U_A mit einer Periode von 100 ms und eine Eingangsspannung U_B mit einer Periode von 50 ms. Die Spannung U_A am Eingang A beginnt bei -2 Volt, steigt in 50 ms auf +2 Volt an und fällt in weiteren 50 ms auf -2 Volt ab. Die Dreiecksspannung U_B am Eingang B verhält sich entsprechend, jedoch mit einer Periodendauer von nur 50 ms. Die vom Dreieck-Generator **1** gelieferte Dreiecksspannung hat eine Frequenz von z. B. 10 MHz und eine Amplitude von z. B. 2 Volt und wird mit der Spannung U_A moduliert. Das Produkt aus U_A und U_B , welches mit Anwendung der zuvor beschriebenen Schaltungsanordnungen erhalten wird, ist im mittleren Diagramm von **Fig. 4** dargestellt. Im oberen Diagramm von **Fig. 4** ist der gerechnete Fehler der Multiplikation dargestellt. Bei einer maximalen Ausgangsspannung von 1,7 Volt beträgt der Fehler 35 mV. Das entspricht einer dynamischen Abweichung von 2%. Die statistische Abweichung liegt im Aussteuerbereich von +/-2 Volt bei weniger als 5 mV, was einer Genauigkeit von 0,2% entspricht.

Bezugszeichenliste

1	Dreieck-Modulator
2	Pulsweitenmodulator
3	Invertierer
4	Wechselschalter
5	Tiefpassfilter
6	Spannungsreferenzelement, Zenerdiode
7	Operationsverstärker
8	Umschaltkomparator
9	Wechselschalter
11	Integrator
12	Kontaktpunkt
13	Kontaktpunkt
14	Eingang
15	Operationsverstärker
16	Operationsverstärker
17	Ausgang
A	Eingang
B	Eingang
AM	Amplitude
f	Frequenz
k	Proportionalitätsfaktor
R20	Widerstand
U_A	Spannung
U_B	Spannung
-U_B	invertierte Spannung
V1	Spannungsquelle
V2	Spannungsquelle

Patentansprüche

- Verfahren zum Multiplizieren von zwei elektrischen Spannungen U_A und U_B miteinander durch
 - Erzeugen einer symmetrischen Dreieck-Wechselspannung mit einer gleichbleibenden Frequenz f und einer gleichbleibenden Amplitude AMM ,
 - Umwandeln der Spannung U_A mittels der Dreieck-Wechselspannung in ein pulsbreitenmoduliertes Signal durch Modulieren der Dreieck-Wechselspannung mit der Spannung U_A unter der Randbedingung, dass bei einer Spannung $U_A = 0$ Volt im pulsbreitenmodulierten Signal ein Tastverhältnis von 50% erhalten wird,
 - Invertieren der Spannung U_B zur Erzeugung einer Spannung $-U_B$,
 - Umschalten sowohl der Spannung U_B als auch der invertierten Spannung $-U_B$ mit dem pulsbreitenmodulierten Signal auf einen gemeinsamen elektrischen Pol,
 - Tiefpassfiltern des am gemeinsamen Pol auftretenden Signals,
 - Ausgeben des gefilterten Signals.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenz f zu $f \leq 10$ MHz gewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenz f zu $f \leq 100$ MHz gewählt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Amplitude AM zu $-10 \text{ Volt} \leq A \leq +10 \text{ Volt}$ gewählt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Verwendung eines Tiefpassfilters von wenigstens zweiter Ordnung.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Verwendung eines durch das pulsbreitenmodulierte Signal steuerbaren Wechselschalters mit einer Bandbreite von mindestens 10 MHz, noch besser von mindestens 80 MHz.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

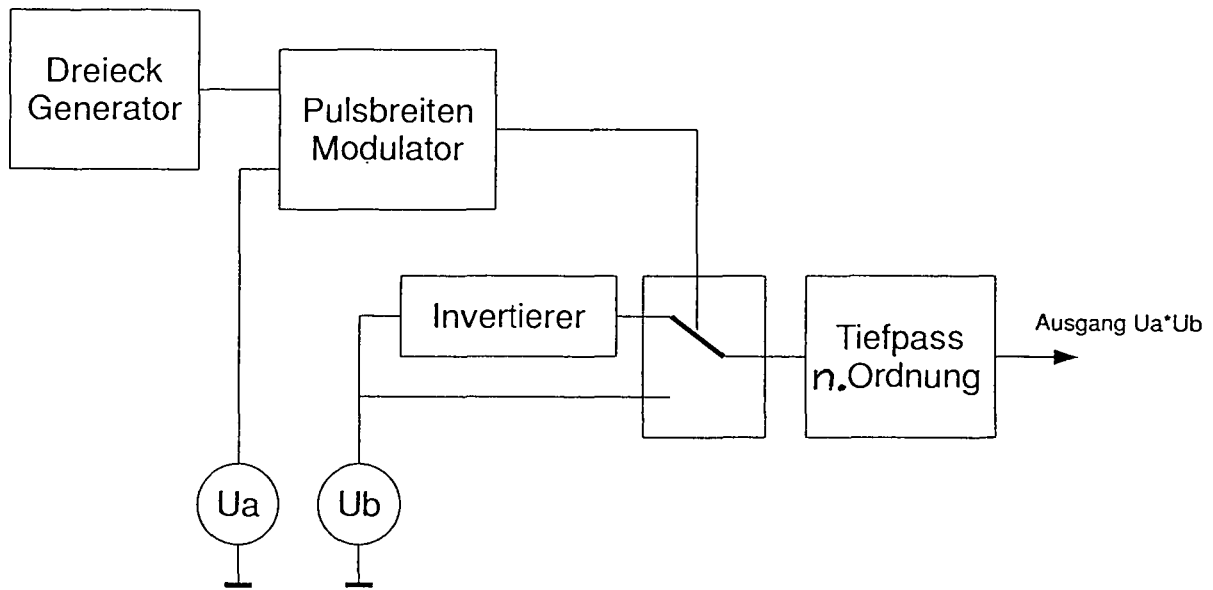


Fig. 1

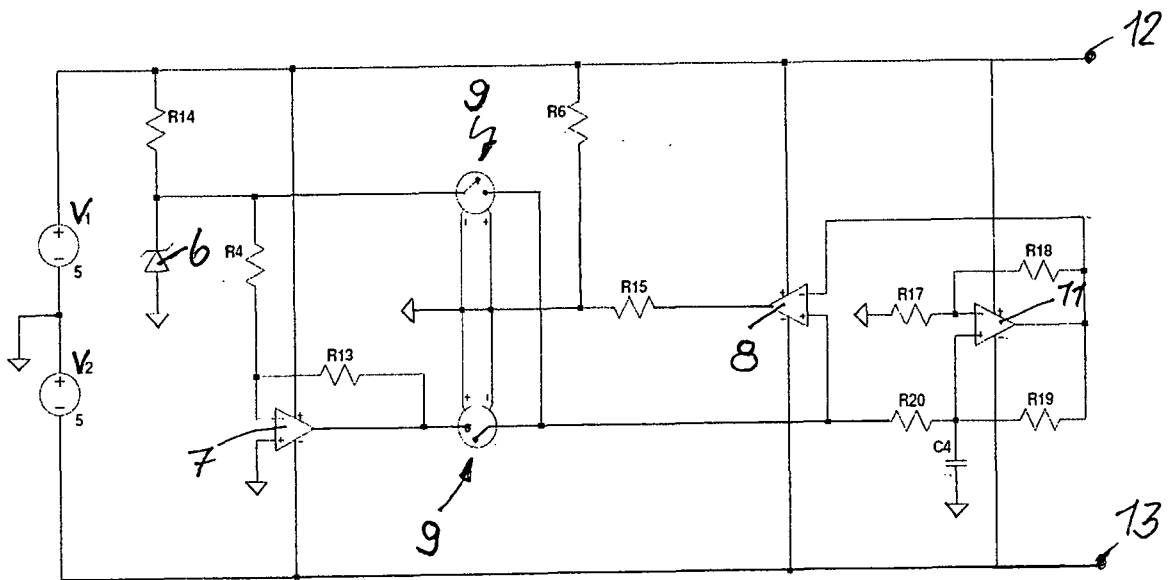


Fig. 2

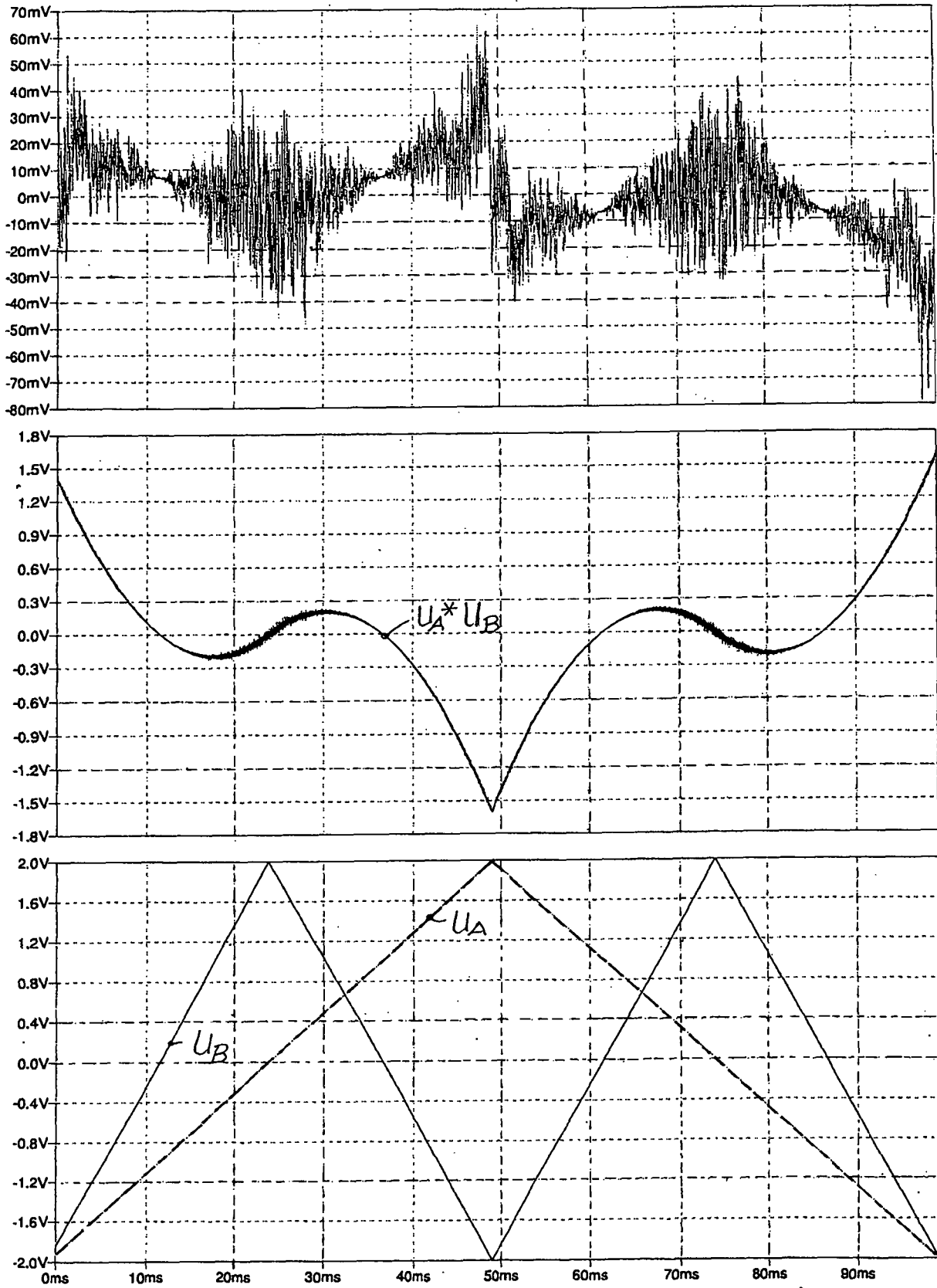


Fig. 4