Puls-Weiten-Modulation mit dem 555 (PWM)

Bei der PWM wird der Tastgrad geändert, um z. B. die Leistung einer Last (LED, Motor u.a.) zu ändern. Die Schaltfrequenz kann fest (auch abgleichbar oder netzsynchron), aber auch einstellbar sein.

Im Folgenden bedeutet "(2-GND)", dass der als Komparator verwendete bipolare 555 mit Pin 2 auf GND geschaltet ist. Das bedeutet aufgrund der etwas anderen Funktionsweise, dass nur z.B. der B555D (alter DDR-Typ) oder auch der LM555CN Verwendung finden kann.
Der NE555N von ST funktioniert mit Pin 2 auf Masse nicht wie gewünscht.

PWM mit Änderung der Frequenz

- PWM, AMV + Dioden, Pulslänge und Pulspause einstellbar

PWM mit fester Frequenz

- PWM, AMV + Dioden, Frequ. fest
- PWM, AMV + Dioden, Frequ. abgleichbar (1)
- PWM, AMV + Dioden, Frequ. abgleichbar (2)
- PWM, AMV + Transistoren, Frequ. abgleichbar
- PWM, AMV + Transistor, Frequ. fest

PWM mit netzsynchroner Frequenz

- PWM, 100 Hz, MMV
- PWM, 100 Hz, 555-Komparator (2-GND)
- PWM, 50 Hz, 555-Komparator (2-GND)
- PWM, 50Hz-Rechteck, 2x 555-Komparator (2-GND)

PWM mit einstellbarer Frequenz

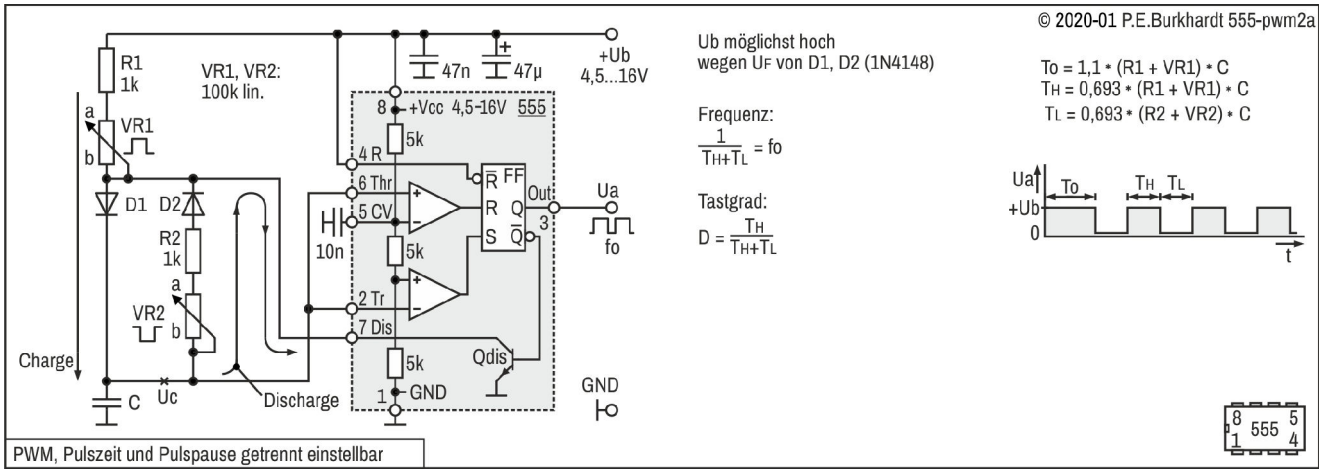
- PWM, AMV + 555-Komp. (2-GND)
- PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert über Transistor)
- PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert direkt)
- PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert über C)
- PWM, C555-AMV + C555-Komp. (getriggert über C)
- PWM, AMV + Opamp-Komp. (LM393)
- PWM, C555-AMV + Opamp-Komp. (LM393)
- PWM, AMV + C555-Komp., 1A-Endstufe

PWM mit Änderung der Frequenz

PWM, AMV + Dioden, Pulslänge und Pulspause einstellbar

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV. C-Ladung und Entladung laufen über getrennte Wege ab (Diodenumschaltung), um Impulslänge und Impulspausenlänge der Ua-Impulsfolge einstellbar machen zu können. Dabei ändert sich die Frequenz, da die Einstellung der Pulslänge (TH) und Pulspause (TL) unabhängig erfolgt.



PWM, Pulslänge und Pulspause einstellbar, davon abhängig Änderung der Frequenz

Schaltungsbeschreibung

Laden und Entladen des Kondensators C

Das Laden des Kondensators C erfolgt von +Ub über R1, Poti VR1 und die Diode D1. Diode D2 und der interne Entladetransistor Qdis des 555 sind gesperrt. Ua führt solange H-Potential bis Uc die obere Schwelle 2/3 von Ub an Pin 6 erreicht. Dann schaltet das interne FF des 555 den Entladetransistor leitend und die Entladung beginnt.

Das Entladen des Kondensators C erfolgt über Poti VR2, R2, D2 und den Entladetransistor Qdis im 555. Jetzt ist D1 gesperrt. Ua führt solange L-Potential bis Uc auf die untere Triggerschwelle 1/3 von Ub absinkt. Dann schaltet das FF wieder um und sperrt den Entladetransistor. Der nächste Ladevorgang beginnt.

Einstellung der Impulslänge mit VR1 und der Impulspause mit VR2

Beide Potis können unabhängig voneinander betätigt werden. Da sich mit Einstellung von Impulslänge TH (Zeit T des H-Potentials) und Impulspause TL (Zeit T des L-Potentials) die Summe TH + TL ändert, wird die Periodendauer des Ua-Impulses geändert. Das bedeutet, die Frequenz ändert sich.

Änderung des Tastgrades

Die Widerstände R1 und R2 begrenzen den Einstellbereich der Potis. R1 verhindert den Kurzschluss von +Ub über den Entladetransistor Qdis. Der 555-interne Qdis muss beim C-Entladen nicht nur den C-Entladestrom verkraften, sondern zusätzlich den Strom von +Ub über R1 und VR1. Steht VR1 auf Stellung a, wirkt nur noch R1 begrenzend. R2 könnte weggelassen werden. Er wurde jedoch vorgesehen, damit mittels VR2 in etwa der gleiche Einstellbereich möglich ist wie mit VR1.

Mit den im Bild angegebenen Werten ist eine Änderung der Einschaltdauer von 1 % bis 99 % möglich. Unter Einschaltdauer soll hier die Länge des Ua-H-Impulses in Prozent von der Gesamtzeit der Ua-Rechteckwelle verstanden werden. Der im Bild angegebene Tastgrad D berechnet sich aus dem Quotienten von TH zur Summe TH + TL, d.h. der Tastgrad repräsentiert das Verhältnis von H-Zeit zur Gesamtzeit einer Periode des Rechteckimpulses.

Das Bild enthält die Berechnungsgleichung. Die Dioden D1 und D2 wurden vernachlässigt. Gleiche Dioden mit niedriger Fluss-Spannung (Schottky) und/oder eine möglichst hohe Betriebsspannung wirken sich günstig aus.

Änderung der Frequenz

Der grundsätzliche Frequenzbereich, der durch Poti-Einstellung erfasst werden soll, wird mit Kondensator C festgelegt.

Fazit

Vorteil ist, dass Impulslänge und Impulspause unabhängig voneinander einstellbar sind. Die sich dabei ergebende Frequenzänderung ist ebenfalls als Vorteil zu werten, allerdings abhängig von der Anwendung der Schaltung.

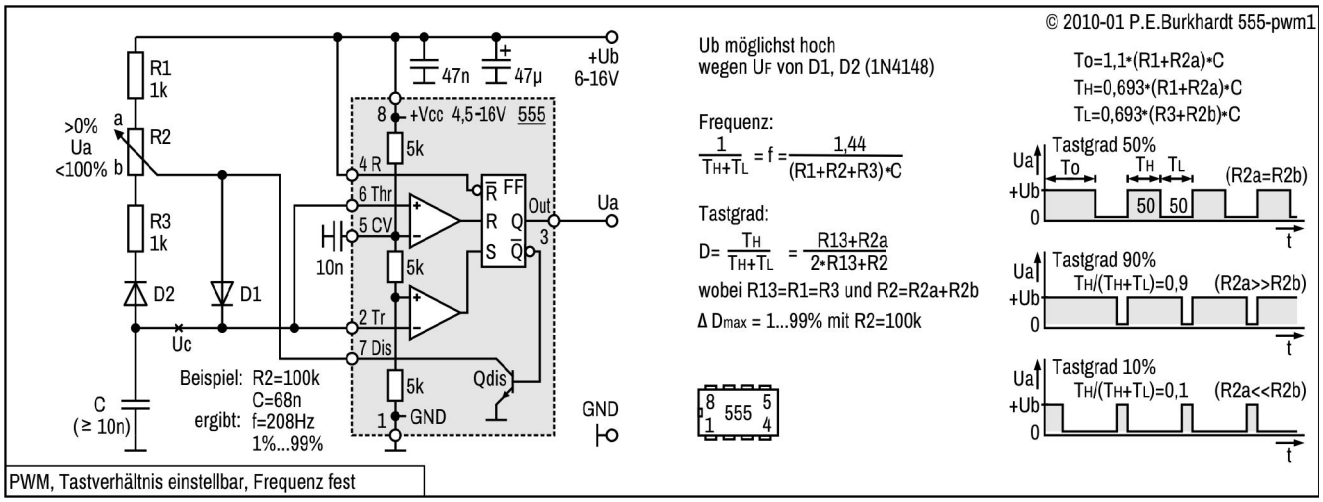
PWM mit fester Frequenz

Für PWM mit fester bzw. in gewissen Grenzen abgleichbarer Frequenz wird nur ein 555 benötigt.

PWM, AMV + Dioden, Frequ. fest

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV. C-Ladung und Entladung laufen über getrennte Wege ab (Diodenumschaltung), um den Tastgrad der Ua-Impulsfolge einstellbar machen zu können. Die Frequenz ist fest.



PWM, Frequenz fest, Einschaltdauer einstellbar max. 1 bis 99 % mit R2 = 100 kΩ

Schaltungsbeschreibung

Laden/Entladen

Das Laden des Kondensators C erfolgt von +Ub über R1, R2a (oberer Teil des Potis R2) und die Diode D1. Diode D2 und der interne Entladetransistor Qdis des 555 sind gesperrt. Ua führt H-Potential bis Uc die obere Schwelle 2/3 von Ub an Pin 6 erreicht. Hier schaltet das interne FF des 555 den Entladetransistor leitend und die Entladung beginnt.

Das Entladen erfolgt über D2, R3, R2b (unterer Teil des Potis R2) und den Entladetransistor. Jetzt ist D1 gesperrt. Ua führt L-Potential bis Uc auf die untere Triggerschwelle 1/3 von Ub absinkt. Nun schaltet das FF wieder um und sperrt den Entladetransistor. Der nächste Ladevorgang beginnt.

Tastgrad-Einstellung mit R2

Für das Laden wirken R1 + R2a, für das Entladen R3 + R2b. Wenn R1 = R3 dimensioniert ist und R2 in Mittelstellung steht, wirken für das Laden und das Entladen gleiche Widerstände. Das bedeutet, für Ladevorgang und Entladevorgang wird die gleiche Zeit benötigt. Ergebnis ist gleiche H- und L-Zeit der Ua-Impulsfolge. Der Tastgrad ist in diesem Fall 0,5 bzw. 50 % Einschaltdauer.

Wird der Schleifer des Potis R2 in Richtung a gedreht, verkleinert sich der Ladewiderstand. Um den gleichen Betrag wird aber auch der Entladewiderstand größer. Das bedeutet, die Ladung erfolgt schneller (kürzere H-Zeit von Ua), die Entladung langsamer (längere L-Zeit von Ua). Der Tastgrad wird kleiner.

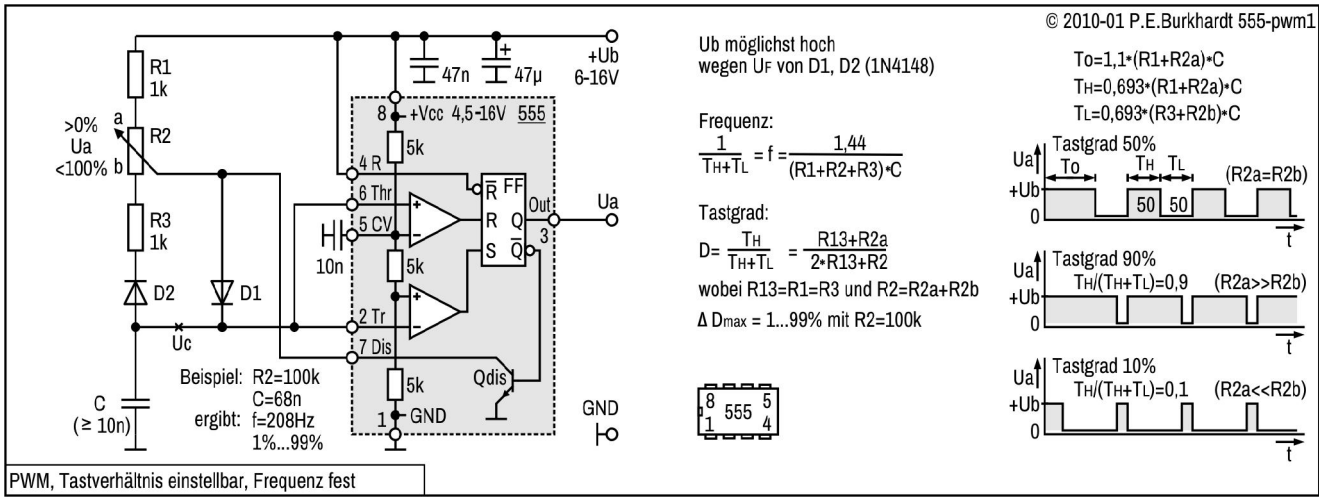
Wird Poti R2 in Richtung b gedreht, kehren sich die Verhältnisse um. Die H-Zeit wird länger, die L-Zeit kürzer. Der Tastgrad wird größer.

Die maximale Änderung des Tastgrades hängt direkt vom Wert des Potis R2 ab. Je größer R2, desto größer der Stellbereich.

Berechnung Tastgrad

Der Tastgrad ist definiert als das Verhältnis von Einschaltzeit (H-Zeit) zur Gesamtzeit einer Rechteckwelle. Das Bild enthält die Berechnungsgleichung. Die Dioden D1 und D2 wurden vernachlässigt. Gleiche Dioden mit niedriger Fluss-Spannung (Schottky) und/oder eine möglichst hohe Betriebsspannung wirken sich günstig aus.

Bemerkenswert ist, dass die Frequenz selbst keinen Einfluss auf den Tastgrad hat. In der Berechnungsgleichung zum Tastgrad D ist nur das Verhältnis der Widerstände enthalten. Ein großer Tastgrad-Einstellbereich kann also durch einen hohen Poti-Wert R2 im Verhältnis zu R1 und R3 erzielt werden. Der 555 setzt allerdings die untere Grenze R1 = R3 ≥ 1 kΩ.



(Bild-Wiederholung)

Impulsfrequenz

Zuerst sollte mit dem R2-Wert der geforderte Tastgrad-Einstellbereich festgelegt werden. Erst dann ist die gewünschte Frequenz mit C festlegbar. Die Änderung über Control-Voltage Pin 5 ist hier nicht angebracht, da dann nur die H-Zeit geändert werden würde, nicht aber die L-Zeit. Dies würde aber den Tastgrad ändern, was bei einer Frequenzeinstellung nicht erwünscht ist.

Praktische Dimensionierung

Mit R1 = R3 = 1 kΩ und dem geforderten Tastgrad-Einstellbereich ergaben sich folgende Werte:

R1 = R3	Poti R2	Tastgrad	Tastgrad (ca.)	C	Frequenz
1 kΩ	1 kΩ	0,333 ... 0,667	33 ... 66 %	10 nF	48 kHz
1 kΩ	1 kΩ	0,333 ... 0,667	33 ... 66 %	100 nF	4,8 kHz
1 kΩ	1 kΩ	0,333 ... 0,667	33 ... 66 %	1 µF	480 Hz
1 kΩ	10 kΩ	0,083 ... 0,917	10 ... 90 %	10 nF	12 kHz
1 kΩ	10 kΩ	0,083 ... 0,917	10 ... 90 %	100 nF	1,2 kHz
1 kΩ	10 kΩ	0,083 ... 0,917	10 ... 90 %	1 µF	120 Hz
1 kΩ	100 kΩ	0,0098 ... 0,9902	1 ... 99 %	10 nF	1,41 kHz
1 kΩ	100 kΩ	0,0098 ... 0,9902	1 ... 99 %	100 nF	141 Hz
1 kΩ	100 kΩ	0,0098 ... 0,9902	1 ... 99 %	1 µF	14,1 Hz

Frequenzwahl

Bei Anwendungen mit gepulsten Induktivitäten (Übertrager zur Ansteuerung von Motoren o.ä.) sollte eine Frequenz oberhalb des Hörbereiches gewählt werden. Das Zirpen und Zischeln von Spulen kann nervig sein. Andererseits sind für manche Anwendungen hohe Freqenzen nicht möglich oder sinnvoll. Für das Pulsen von PC-Lüftermotoren reichen z.B. 100 Hz völlig aus.

Nach oben wird der anwendbare Frequenzbereich sowieso durch R1 = R3 = 1 kΩ in Verbindung mit dem minimal möglichen Kondensator C = 10 nF begrenzt. Es hat sich gezeigt, dass die Uc-Entladekurve bei z.B. 4,7 nF schon sehr verzerrt war (unabhängig von Ub).

Betriebsspannung

Die Betriebsspannung sollte wegen der Dioden D1 und D2 über 10 V sein. Die Schaltung ist zwar im gesamten Ub-Bereich des 555 funktionsfähig, aber im unteren Ub-Bereich entsprechend ungenau.

Potentiometer R2

Im Test zeigte sich, dass sich die Frequenz mit der Schleiferstellung etwas änderte, obwohl dies eigentlich entsprechend der Tastgrad-Gleichung (siehe Bild) nicht sein dürfte. Als Ursache wurden Schicht-Drehwiderstände ermittelt. Sie haben je nach Qualität einen vom Drehwinkel abhängigen Schleiferwiderstand. Das läßt sich durch den punktförmigen Abgriff auf der flächenhaften Widerstandsbahn erklären. Bei linearen Drehwiderständen hat dieser Schleifer-Serienwiderstand sein Maximum in der Mitte der Widerstandsbahn und sein Minimum an den beiden Anschlägen.

Dadurch wird bei Änderung des Tastgrades zusätzlich die vorgegebene Frequenz geändert. Die jeweils höchste Frequenz ist an den beiden Anschlägen.

Abhilfe bringen Draht-Drehwiderstände. Sie haben einen konstant niedrigen Schleifer-Serienwiderstand, der sich kaum als Frequenzänderung bemerkbar macht. Allerdings sind Draht-Drehwiderstände über 10 kΩ nicht üblich.

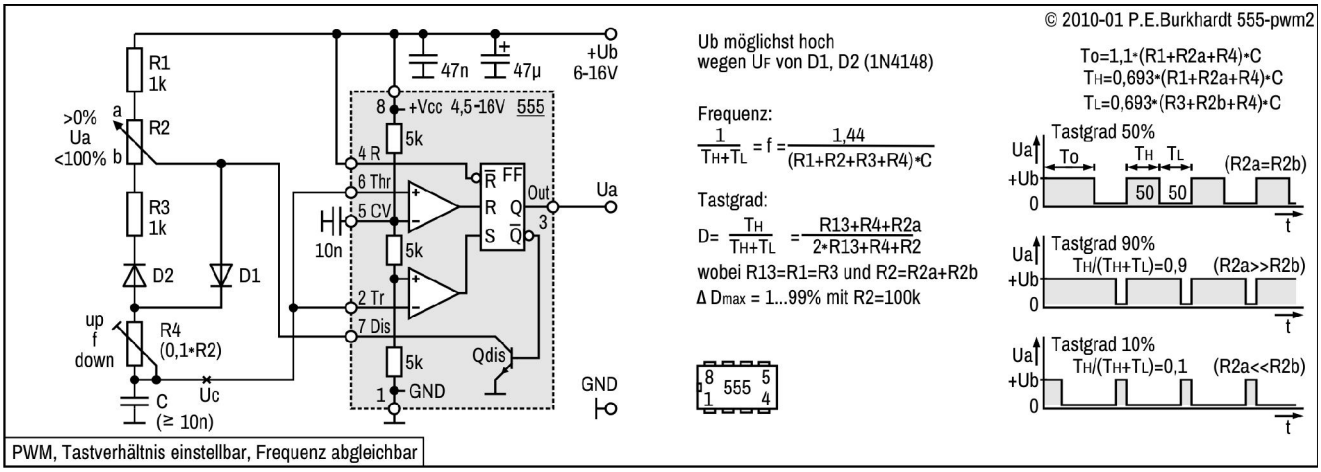
Fazit

Vorteil ist die einfache Schaltung. Nachteile sind die feste Frequenz und die begrenzte Einstellbarkeit des Tastgrades.

PWM, AMV + Dioden, Frequ. abgleichbar (1)

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV. C-Ladung und Entladung laufen über getrennte Wege ab (Diodenumschaltung), um den Tastgrad der Ua-Impulsfolge einstellbar machen zu können. Die Frequenz ist in engen Grenzen abgleichbar, um z.B. die Toleranz von C ausgleichen zu können.



PWM, Frequenz abgleichbar (1), Einschaltdauer einstellbar max. 1 bis 99 % mit R2 = 100 kΩ

Schaltungsbeschreibung

Laden/Entladen

Das Laden des Kondensators C erfolgt von +Ub über R1, R2a (oberer Teil des Potis R2), die Diode D1 und R4. Diode D2 und der interne Entladetransistor Qdis des 555 sind gesperrt. Ua führt H-Potential bis Uc die obere Schwelle 2/3 von Ub an Pin 6 erreicht. Hier schaltet das interne FF des 555 den Entladetransistor leitend und die Entladung beginnt.

Das Entladen erfolgt über R4, D2, R3, R2b (unterer Teil des Potis R2) und den Entladetransistor. Jetzt ist D1 gesperrt. Ua führt L-Potential bis Uc auf die untere Triggerschwelle 1/3 von Ub absinkt. Nun schaltet das FF wieder um und sperrt den Entladetransistor. Der nächste Ladevorgang beginnt.

Tastgrad-Einstellung mit R2

Für das Laden wirken R1 + R2a + R4, für das Entladen R4 + R3 + R2b. Wenn R1 = R3 dimensioniert ist und R2 in Mittelstellung steht, wirken für das Laden und das Entladen gleiche Widerstände. Das bedeutet, für Ladevorgang und Entladevorgang wird die gleiche Zeit benötigt. Ergebnis ist gleiche H- und L-Zeit der Ua-Impulsfolge. Der Tastgrad ist in diesem Fall 0,5 bzw. 50 % Einschaltdauer.

Wird der Schleifer des Potis R2 in Richtung a gedreht, verkleinert sich der Ladewiderstand. Um den gleichen Betrag wird aber auch der Entladewiderstand größer. Das bedeutet, die Ladung erfolgt schneller (kürzere H-Zeit von Ua), die Entladung langsamer (längere L-Zeit von Ua). Der Tastgrad wird kleiner.

Wird Poti R2 in Richtung b gedreht, kehren sich die Verhältnisse um. Die H-Zeit wird länger, die L-Zeit kürzer. Der Tastgrad wird größer.

Die maximale Änderung des Tastgrades hängt direkt vom Wert des Potis R2 ab. Je größer R2, desto größer der Stellbereich.

Berechnung Tastgrad

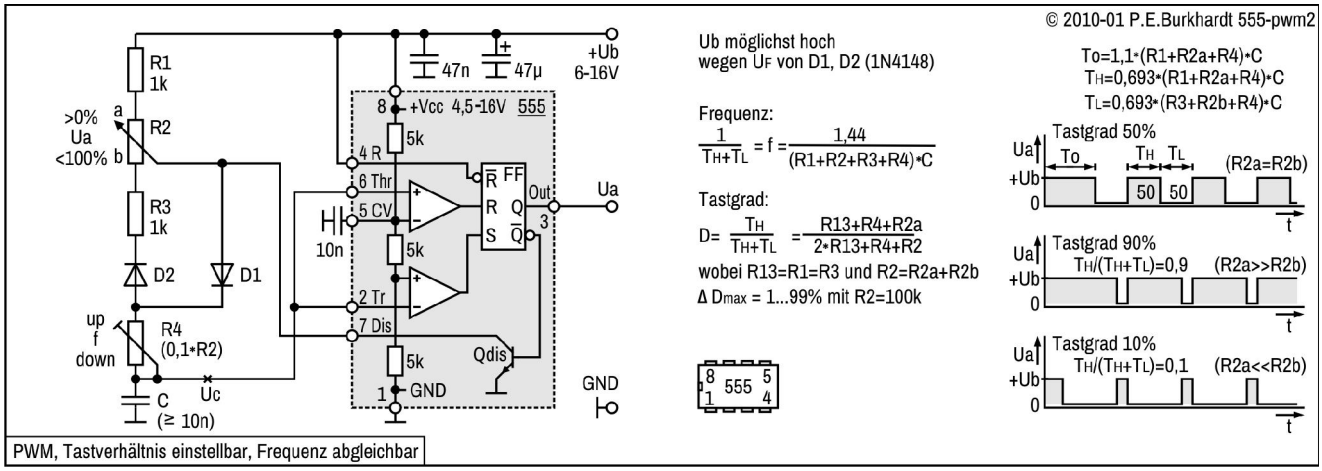
Der Tastgrad ist definiert als das Verhältnis von Einschaltzeit (H-Zeit) zur Gesamtzeit einer Rechteckwelle. Das Bild enthält die Berechnungsgleichung. Die Dioden D1 und D2 wurden vernachlässigt. Gleiche Dioden mit niedriger Fluss-Spannung (Schottky) und/oder eine möglichst hohe Betriebsspannung wirken sich günstig aus.

Bemerkenswert ist, dass die Frequenz selbst keinen Einfluss auf den Tastgrad hat. In der Berechnungsgleichung zum Tastgrad D ist nur das Verhältnis der Widerstände enthalten. Ein großer Tastgrad-Einstellbereich kann also durch einen hohen Poti-Wert R2 im Verhältnis zu R1 und R3 erzielt werden. Der 555 setzt allerdings die untere Grenze R1 = R3 ≥ 1 kΩ.

Impulsfrequenz und Abgleich

Zuerst sollte mit dem R2-Wert der geforderte Tastgrad-Einstellbereich festgelegt werden. Erst dann ist die gewünschte Frequenz grob mit C festlegbar.

Vor dem Kondensator ist der Abgleichwiderstand R4 für den Feinabgleich der Frequenz eingefügt. Wenn R4 wie angegeben nur 1/10 von R2 beträgt, wird der Abgleichbereich von R2 nicht sehr verändert. Die Einstellung des Tastgrades bleibt auch beim Feinabgleich der Frequenz erhalten, da R4 im Lade- und Entladezweig von C liegt. Das Bild enthält die Berechnungsgleichungen.



(Bild-Wiederholung)

Frequenzwahl

Bei Anwendungen mit gepulsten Induktivitäten (Übertrager zur Ansteuerung von Motoren o.ä.) sollte eine Frequenz oberhalb des Hörbereiches gewählt werden. Das Zirpen und Zischeln von Spulen kann nervig sein. Andererseits sind für manche Anwendungen hohe Freqenzen nicht möglich oder sinnvoll. Für das Pulsen von PC-Lüftermotoren reichen z.B. 100 Hz völlig aus.

Nach oben wird der anwendbare Frequenzbereich sowieso durch R1 = R3 = 1 kΩ in Verbindung mit dem minimal möglichen Kondensator C = 10 nF begrenzt. Es hat sich gezeigt, dass die Uc-Entladekurve bei z.B. 4,7 nF schon sehr verzerrt war (unabhängig von Ub).

Betriebsspannung

Die Betriebsspannung sollte wegen der Dioden D1 und D2 über 10 V sein. Die Schaltung ist zwar im gesamten Ub-Bereich des 555 funktionsfähig, aber im unteren Ub-Bereich entsprechend ungenau.

Potentiometer R2

Im Test zeigte sich, dass sich die Frequenz mit der Schleiferstellung etwas änderte, obwohl dies eigentlich entsprechend der Tastgrad-Gleichung (siehe Bild) nicht sein dürfte. Als Ursache wurden Schicht-Drehwiderstände ermittelt. Sie haben je nach Qualität einen vom Drehwinkel abhängigen Schleiferwiderstand. Das läßt sich durch den punktförmigen Abgriff auf der flächenhaften Widerstandsbahn erklären. Bei linearen Drehwiderständen hat dieser Schleifer-Serienwiderstand sein Maximum in der Mitte der Widerstandsbahn und sein Minimum an den beiden Anschlägen.

Dadurch wird bei Änderung des Tastgrades zusätzlich die vorgegebene Frequenz geändert. Die jeweils höchste Frequenz ist an den beiden Anschlägen.

Abhilfe bringen Draht-Drehwiderstände. Sie haben einen konstant niedrigen Schleifer-Serienwiderstand, der sich kaum als Frequenzänderung bemerkbar macht. Allerdings sind Draht-Drehwiderstände über 10 kΩ nicht üblich.

Fazit

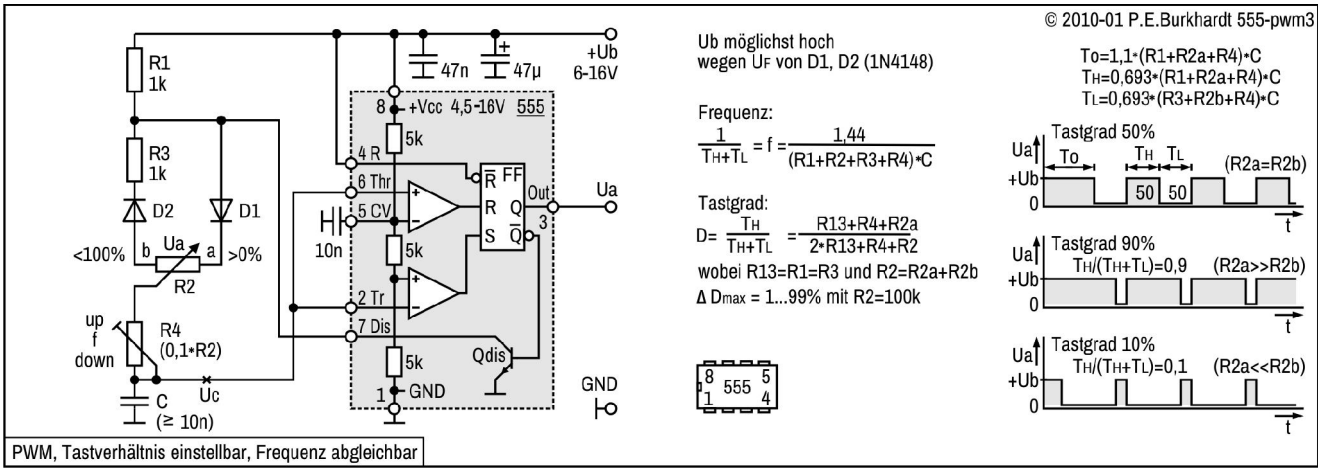
Vorteil ist neben der einfachen Schaltung die zusätzliche Möglichkeit des Frequenzabgleichs. Das kann in manchen Anwendungen erforderlich sein.

Nachteile sind die nahezu feste Frequenz und die Abhängigkeit der Frequenzkonstanz von der Qualität des eingesetzten Potentiometers. Der größte Nachteil ist allerdings, dass keine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist, falls benötigt.

PWM, AMV + Dioden, Frequ. abgleichbar (2)

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV. C-Ladung und Entladung laufen über getrennte Wege ab (Diodenumschaltung), um den Tastgrad der Ua-Impulsfolge einstellbar machen zu können. Die Frequenz ist in engen Grenzen abgleichbar, um z.B. die Toleranz von C ausgleichen zu können.



PWM, Tastverhältnis einstellbar, Frequenz abgleichbar

PWM, Frequenz abgleichbar (2), Einschaltdauer einstellbar max. 1 bis 99 % mit R2 = 100 kΩ

Schaltungsbeschreibung

Laden/Entladen

Das Laden des Kondensators C erfolgt von +Ub über R1, Diode D1, R2a (rechter Teil des Potis R2) und R4. Diode D2 und der interne Entladetransistor Qdis des 555 sind gesperrt. Ua führt H-Potential bis Uc die obere Schwelle 2/3 von Ub an Pin 6 erreicht. Hier schaltet das interne FF des 555 den Entladetransistor leitend und die Entladung beginnt.

Das Entladen erfolgt über R4, R2b (linker Teil des Potis R2), D2, R3 und den Entladetransistor. Jetzt ist D1 gesperrt. Ua führt L-Potential bis Uc auf die untere Triggerschwelle 1/3 von Ub absinkt. Nun schaltet das FF wieder um und sperrt den Entladetransistor. Der nächste Ladevorgang beginnt.

Tastgrad-Einstellung mit R2

Für das Laden wirken R1 + R2a + R4, für das Entladen R4 + R2b + R3. Wenn R1 = R3 dimensioniert ist und R2 in Mittelstellung steht, wirken für das Laden und das Entladen gleiche Widerstände. Das bedeutet, für Ladevorgang und Entladevorgang wird die gleiche Zeit benötigt. Ergebnis ist gleiche H- und L-Zeit der Ua-Impulsfolge. Der Tastgrad ist in diesem Fall 0,5 bzw. 50 % Einschaltdauer.

Wird der Schleifer des Potis R2 in Richtung a gedreht, verkleinert sich der Ladewiderstand. Um den gleichen Betrag wird aber auch der Entladewiderstand größer. Das bedeutet, die Ladung erfolgt schneller (kürzere H-Zeit von Ua), die Entladung langsamer (längere L-Zeit von Ua). Der Tastgrad wird kleiner.

Wird Poti R2 in Richtung b gedreht, kehren sich die Verhältnisse um. Die H-Zeit wird länger, die L-Zeit kürzer. Der Tastgrad wird größer.

Die maximale Änderung des Tastgrades hängt direkt vom Wert des Potis R2 ab. Je größer R2, desto größer der Stellbereich.

Berechnung Tastgrad

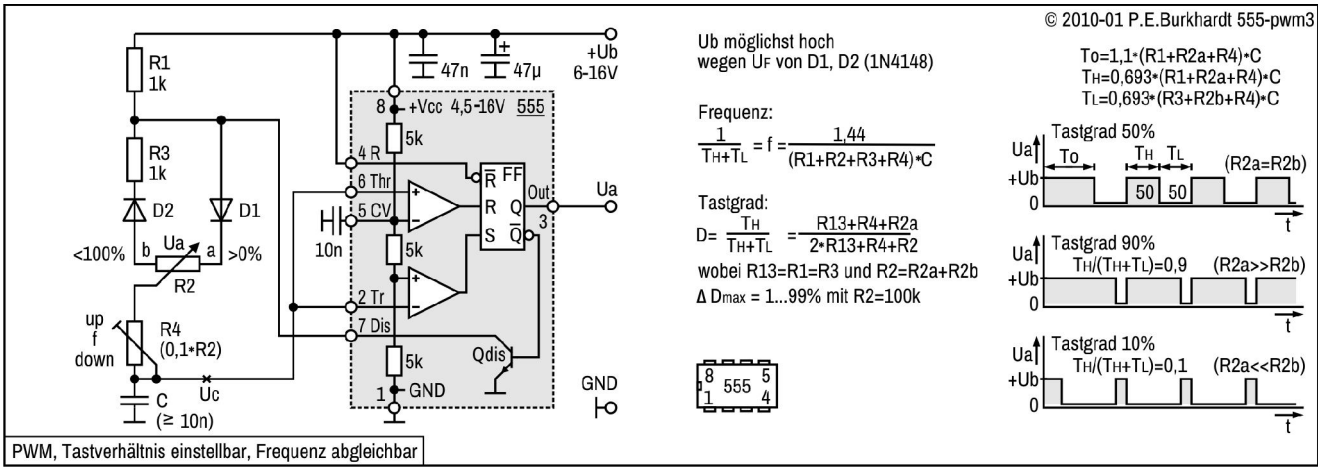
Der Tastgrad ist definiert als das Verhältnis von Einschaltzeit (H-Zeit) zur Gesamtzeit einer Rechteckwelle. Das Bild enthält die Berechnungsgleichung. Die Dioden D1 und D2 wurden vernachlässigt. Gleiche Dioden mit niedriger Fluss-Spannung (Schottky) und/oder eine möglichst hohe Betriebsspannung wirken sich günstig aus.

Bemerkenswert ist, dass die Frequenz selbst keinen Einfluss auf den Tastgrad hat. In der Berechnungsgleichung zum Tastgrad D ist nur das Verhältnis der Widerstände enthalten. Ein großer Tastgrad-Einstellbereich kann also durch einen hohen Poti-Wert R2 im Verhältnis zu R1 und R3 erzielt werden. Der 555 setzt allerdings die untere Grenze R1 = R3 ≥ 1 kΩ.

Impulsfrequenz und Abgleich

Zuerst sollte mit dem R2-Wert der geforderte Tastgrad-Einstellbereich festgelegt werden. Erst dann ist die gewünschte Frequenz grob mit C festlegbar.

Vor dem Kondensator ist der Abgleichwiderstand R4 für den Feinabgleich der Frequenz eingefügt. Wenn R4 wie angegeben nur 1/10 von R2 beträgt, wird der Abgleichbereich von R2 nicht sehr verändert. Die Einstellung des Tastgrades bleibt auch beim Feinabgleich der Frequenz erhalten, da R4 im Lade- und Entladezweig von C liegt. Das Bild enthält die Berechnungsgleichungen.



(Bild-Wiederholung)

Frequenzwahl

Bei Anwendungen mit gepulsten Induktivitäten (Übertrager zur Ansteuerung von Motoren o.ä.) sollte eine Frequenz oberhalb des Hörbereiches gewählt werden. Das Zirpen und Zischeln von Spulen kann nervig sein. Andererseits sind für manche Anwendungen hohe Freqenzen nicht möglich oder sinnvoll. Für das Pulsen von PC-Lüftermotoren reichen z.B. 100 Hz völlig aus.

Nach oben wird der anwendbare Frequenzbereich sowieso durch R1 = R3 = 1 kΩ in Verbindung mit dem minimal möglichen Kondensator C = 10 nF begrenzt. Es hat sich gezeigt, dass die Uc-Entladekurve bei z.B. 4,7 nF schon sehr verzerrt war (unabhängig von Ub).

Betriebsspannung

Die Betriebsspannung sollte wegen der Dioden D1 und D2 über 10 V sein. Die Schaltung ist zwar im gesamten Ub-Bereich des 555 funktionsfähig, aber im unteren Ub-Bereich entsprechend ungenau.

Potentiometer R2

Im Test zeigte sich, dass sich die Frequenz mit der Schleiferstellung etwas änderte, obwohl dies eigentlich entsprechend der Tastgrad-Gleichung (siehe Bild) nicht sein dürfte. Als Ursache wurden Schicht-Drehwiderstände ermittelt. Sie haben je nach Qualität einen vom Drehwinkel abhängigen Schleiferwiderstand. Das läßt sich durch den punktförmigen Abgriff auf der flächenhaften Widerstandsbahn erklären. Bei linearen Drehwiderständen hat dieser Schleifer-Serienwiderstand sein Maximum in der Mitte der Widerstandsbahn und sein Minimum an den beiden Anschlägen.

Dadurch wird bei Änderung des Tastgrades zusätzlich die vorgegebene Frequenz geändert. Die jeweils höchste Frequenz ist an den beiden Anschlägen.

Abhilfe bringen Draht-Drehwiderstände. Sie haben einen konstant niedrigen Schleifer-Serienwiderstand, der sich kaum als Frequenzänderung bemerkbar macht. Allerdings sind Draht-Drehwiderstände über 10 kΩ nicht üblich.

Fazit

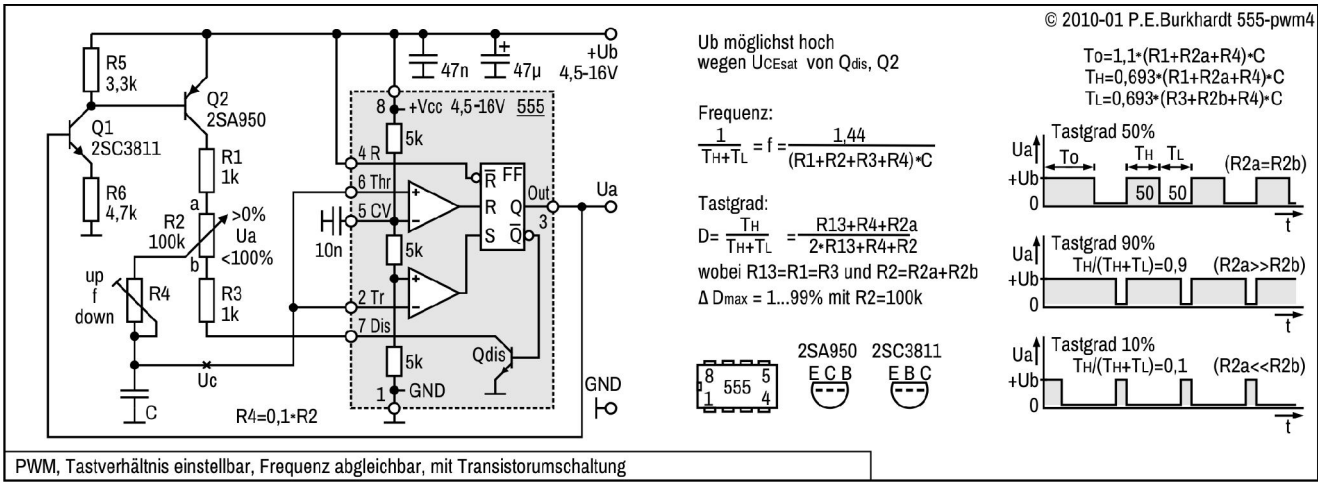
Vorteil ist neben der einfachen Schaltung die zusätzliche Möglichkeit des Frequenzabgleichs. Das kann in manchen Anwendungen erforderlich sein.

Nachteile sind die nahezu feste Frequenz und die Abhängigkeit der Frequenzkonstanz von der Qualität des eingesetzten Potentiometers. Der größte Nachteil ist allerdings, dass keine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist, falls benötigt.

PWM, AMV + Transistoren, Frequ. abgleichbar

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV. C-Ladung und Entladung laufen über getrennte Wege ab (Transistor-Umschaltung), um den Tastgrad der Ua-Impulsfolge einstellbar machen zu können. Die Frequenz ist in engen Grenzen abgleichbar, um z.B. die Toleranz von C ausgleichen zu können.



PWM, Tastverhältnis einstellbar, Frequenz abgleichbar, mit Transistorumschaltung

PWM, Frequenz abgleichbar, Einschaltdauer einstellbar max. 1 bis 99 % mit R2 = 100 kΩ

Schaltungsbeschreibung

Transistor-Umschaltung

Zum Umschalten vom C-Ladezweig auf den C-Entladezweig können Dioden, aber auch Transistoren verwendet werden. Die Transistor-Umschaltung hat den Vorteil der niedrigen U_{CE}-Sättigungsspannung von ca. 0,1 V gegenüber Dioden mit U_F = 0,6 V. Der Fehler ist also bei Transistor-Umschaltung geringer. Das ist vorteilhaft besonders bei niedriger Betriebsspannung Ub.

Laden/Entladen

Das Laden des Kondensators C erfolgt von +Ub über Transistor Q2, R1, R2a (oberer Teil des Potis R2) und R4. Das ist möglich, weil der 555-Ausgang Pin 3 beim C-Laden H-Potential führt. Bei H sind Q1 und Q2 durchgesteuert.

Ua führt H-Potential bis Uc die obere Schwelle 2/3 von Ub an Pin 6 erreicht. Hier schaltet das interne FF des 555 den Entladetransistor leitend. Außerdem sperrt Ua mit L-Potential die Transistoren Q1 und Q2. Die Entladung beginnt.

Das Entladen erfolgt über R4, R2b (unterer Teil des Potis R2), D2, R3 und den Entladetransistor. Ua führt L-Potential bis Uc auf die untere Triggerschwelle 1/3 von Ub absinkt. Nun schaltet das FF wieder um und sperrt den Entladetransistor. Außerdem werden mit H am 555-Ausgang die Transistoren Q1 und Q2 wieder leitend. Der nächste Ladevorgang beginnt.

Tastgrad-Einstellung mit R2

Für das Laden wirken R1 + R2a + R4, für das Entladen R4 + R2b + R3. Wenn R1 = R3 dimensioniert ist und R2 in Mittelstellung steht, wirken für das Laden und das Entladen gleiche Widerstände. Das bedeutet, für Ladevorgang und Entladevorgang wird die gleiche Zeit benötigt. Ergebnis ist gleiche H- und L-Zeit der Ua-Impulsfolge. Der Tastgrad ist in diesem Fall 0,5 bzw. 50 % Einschaltdauer.

Wird der Schleifer des Potis R2 in Richtung a gedreht, verkleinert sich der Ladewiderstand. Um den gleichen Betrag wird aber auch der Entladewiderstand größer. Das bedeutet, die Ladung erfolgt schneller (kürzere H-Zeit von Ua), die Entladung langsamer (längere L-Zeit von Ua). Der Tastgrad wird kleiner.

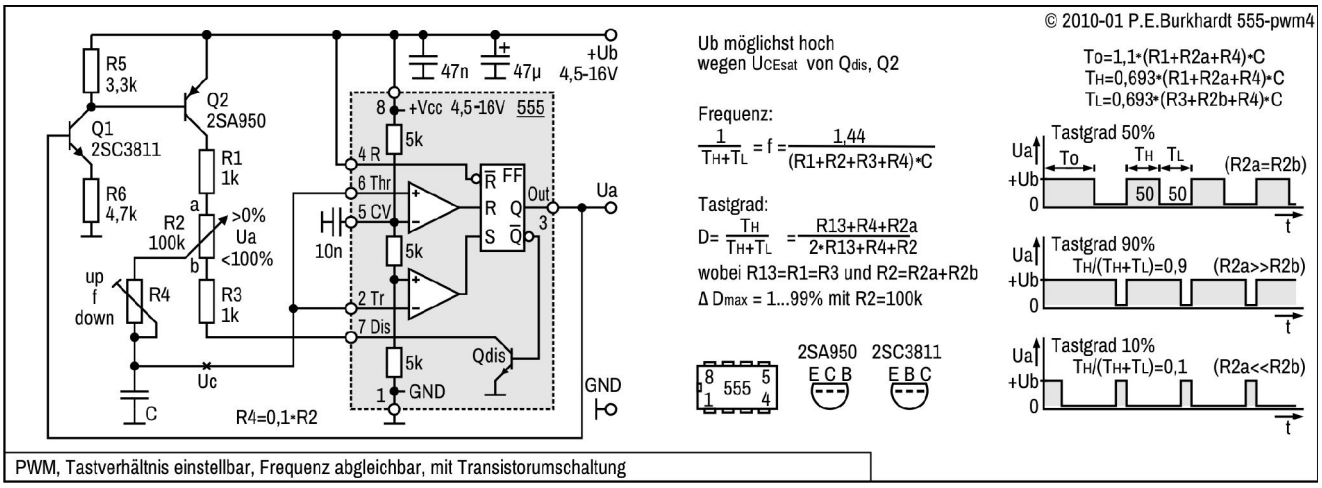
Wird Poti R2 in Richtung b gedreht, kehren sich die Verhältnisse um. Die H-Zeit wird länger, die L-Zeit kürzer. Der Tastgrad wird größer.

Die maximale Änderung des Tastgrades hängt direkt vom Wert des Potis R2 ab. Je größer R2, desto größer der Stellbereich.

Berechnung Tastgrad

Der Tastgrad ist definiert als das Verhältnis von Einschaltzeit (H-Zeit) zur Gesamtzeit einer Rechteckwelle. Das Bild enthält die Berechnungsgleichung. Die geringe Sättigungsspannung von Tansistor Q2 wurde vernachlässigt. Sie ist etwa mit der Sättigungsspannung des internen Qdis vergleichbar. Der Transistor-Umschaltfehler ist also ohne Bedeutung.

Bemerkenswert ist, dass die Frequenz selbst keinen Einfluss auf den Tastgrad hat. In der Berechnungsgleichung zum Tastgrad D ist nur das Verhältnis der Widerstände enthalten. Ein großer Tastgrad-Einstellbereich kann also durch einen hohen Poti-Wert R2 im Verhältnis zu R1 und R3 erzielt werden. Der 555 setzt allerdings die untere Grenze R1 = R3 ≥ 1 kΩ.



PWM, Tastverhältnis einstellbar, Frequenz abgleichbar, mit Transistorumschaltung

(Bild-Wiederholung)

Impulsfrequenz und Abgleich

Zuerst sollte mit dem R2-Wert der geforderte Tastgrad-Einstellbereich festgelegt werden. Erst dann ist die gewünschte Frequenz grob mit C festlegbar.

Vor dem Kondensator ist der Abgleichwiderstand R4 für den Feinabgleich der Frequenz eingefügt. Wenn R4 wie angegeben nur 1/10 von R2 beträgt, wird der Abgleichbereich von R2 nicht sehr verändert. Die Einstellung des Tastgrades bleibt auch beim Feinabgleich der Frequenz erhalten, da R4 im Lade- und Entladezweig von C liegt.

Das Bild enthält die Berechnungsgleichungen.

Frequenzwahl

Bei Anwendungen mit gepulsten Induktivitäten (Übertrager zur Ansteuerung von Motoren o.ä.) sollte eine Frequenz oberhalb des Hörbereiches gewählt werden. Das Zirpen und Zischeln von Spulen kann nervig sein. Andererseits sind für manche Anwendungen hohe Freqenzen nicht möglich oder sinnvoll. Für das Pulsen von PC-Lüftermotoren reichen z.B. 100 Hz völlig aus.

Nach oben wird der anwendbare Frequenzbereich sowieso durch R1 = R3 = 1 kΩ in Verbindung mit dem minimal möglichen Kondensator C = 10 nF begrenzt. Es hat sich gezeigt, dass die Uc-Entladekurve bei z.B. 4,7 nF schon sehr verzerrt war (unabhängig von Ub).

Potentiometer R2

Im Test zeigte sich, dass sich die Frequenz mit der Schleiferstellung etwas änderte, obwohl dies eigentlich entsprechend der Tastgrad-Gleichung (siehe Bild) nicht sein dürfte. Als Ursache wurden Schicht-Drehwiderstände ermittelt. Sie haben je nach Qualität einen vom Drehwinkel abhängigen Schleiferwiderstand. Das läßt sich durch den punktförmigen Abgriff auf der flächenhaften Widerstandsbahn erklären. Bei linearen Drehwiderständen hat dieser Schleifer-Serienwiderstand sein Maximum in der Mitte der Widerstandsbahn und sein Minimum an den beiden Anschlägen.

Dadurch wird bei Änderung des Tastgrades zusätzlich die vorgegebene Frequenz geändert. Die jeweils höchste Frequenz ist an den beiden Anschlägen.

Abhilfe bringen Draht-Drehwiderstände. Sie haben einen konstant niedrigen Schleifer-Serienwiderstand, der sich kaum als Frequenzänderung bemerkbar macht. Allerdings sind Draht-Drehwiderstände über 10 kΩ nicht üblich.

Fazit

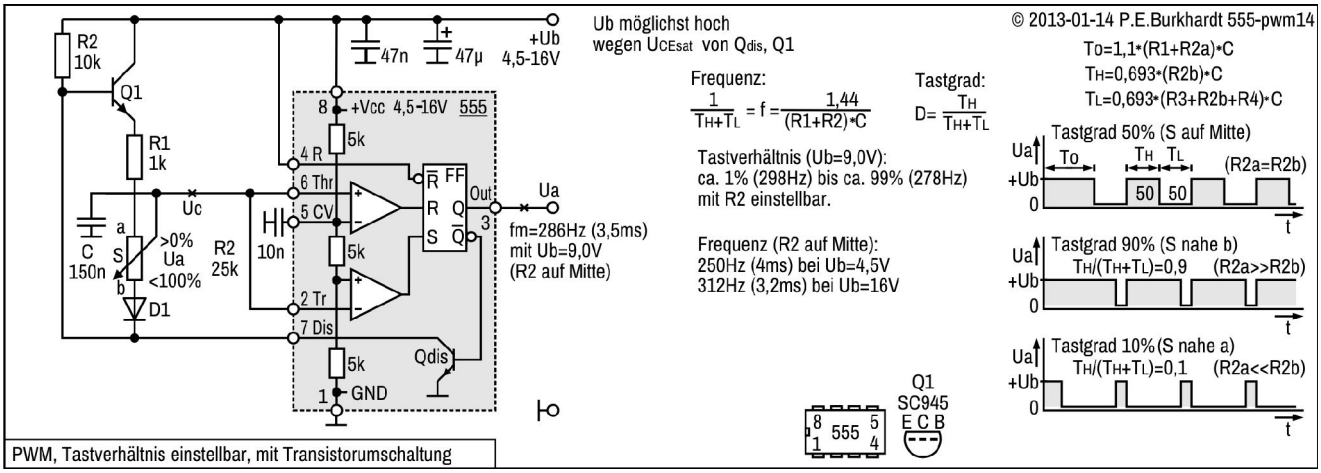
Vorteil ist neben der einfachen Schaltung die zusätzliche Möglichkeit des Frequenzabgleichs. Das kann in manchen Anwendungen erforderlich sein. Außerdem verursacht die Transistor-Umschaltung nur einen geringen Fehler, verglichen mit der Dioden-Umschaltung. Die Schaltung kann deshalb problemlos auch mit niedriger Ub arbeiten.

Nachteile sind die nahezu feste Frequenz und die Abhängigkeit der Frequenzkonstanz von der Qualität des eingesetzten Potentiometers. Der größte Nachteil ist allerdings, dass keine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist, falls benötigt.

PWM, AMV + Transistor, Frequ. fest

Prinzip

Der 555 arbeitet als AMV mit getrenntem Lade- und Entladeweg für den frequenzbestimmenden Kondensator C. Regler R2 ist so geschaltet, dass die Summe von Lade- und Entladewiderstand gleich bleibt (abgesehen vom Schutzwiderstand R1). Dadurch bleibt auch die Frequenz gleich, unabhängig von der R2-Stellung. R2 verändert aber die Ladezeit im Verhältnis zur Entladezeit. Es ergibt sich eine entsprechende Tastgrad-Änderung (siehe Diagramm im Bild). Bei R2-Mittelstellung ist der Tastgrad D = 0,5 (Einschaltdauer 50 %).



PWM, Tastverhältnis einstellbar, mit Transistorumschaltung

Schaltungsbeschreibung

C-Laden

Entladetransistor Qdis (555-intern) ist gesperrt. Dadurch wird Transistor Q1 über R2 durchgesteuert. C kann sich über den Pfad +Ub-Q1-R1-R2(a) aufladen. In R2-Stellung auf a geschieht dies schnell, in R2-Stellung auf b geschieht dies langsamer.

C-Entladen

Entladetransistor Qdis ist jetzt leitend. Das Pin-7-Potential liegt nahezu auf GND. Q1 und damit der Ladepfad über R1 ist gesperrt. Diode D1 ist leitend, C1 entlädt sich über den Pfad R2(b)-D1-Qdis-GND. In R2-Stellung auf a geschieht dies langsam, in R2-Stellung auf b geschieht dies schneller.

Tastgrad und Frequenz

Der Tastgrad ist mit R2 von nahezu 0 % bis fast 100 % einstellbar. Dabei ändert sich allerdings auch die Frequenz etwas (siehe Messwerte im Bild). Ursache sind Q1, R1, R2-Fehler, D1 und Qdis. Alle Bauelemente im Lade- und Entladepfad tragen ihren Teil dazu bei, dass die Summe der Auf- und Entladung bei unterschiedlicher R2-Stellung nicht gleich bleibt. Zusätzlich hängt die Frequenz von Ub ab (siehe Bild). Auch dafür sind die genannten Bauelemente verantwortlich.

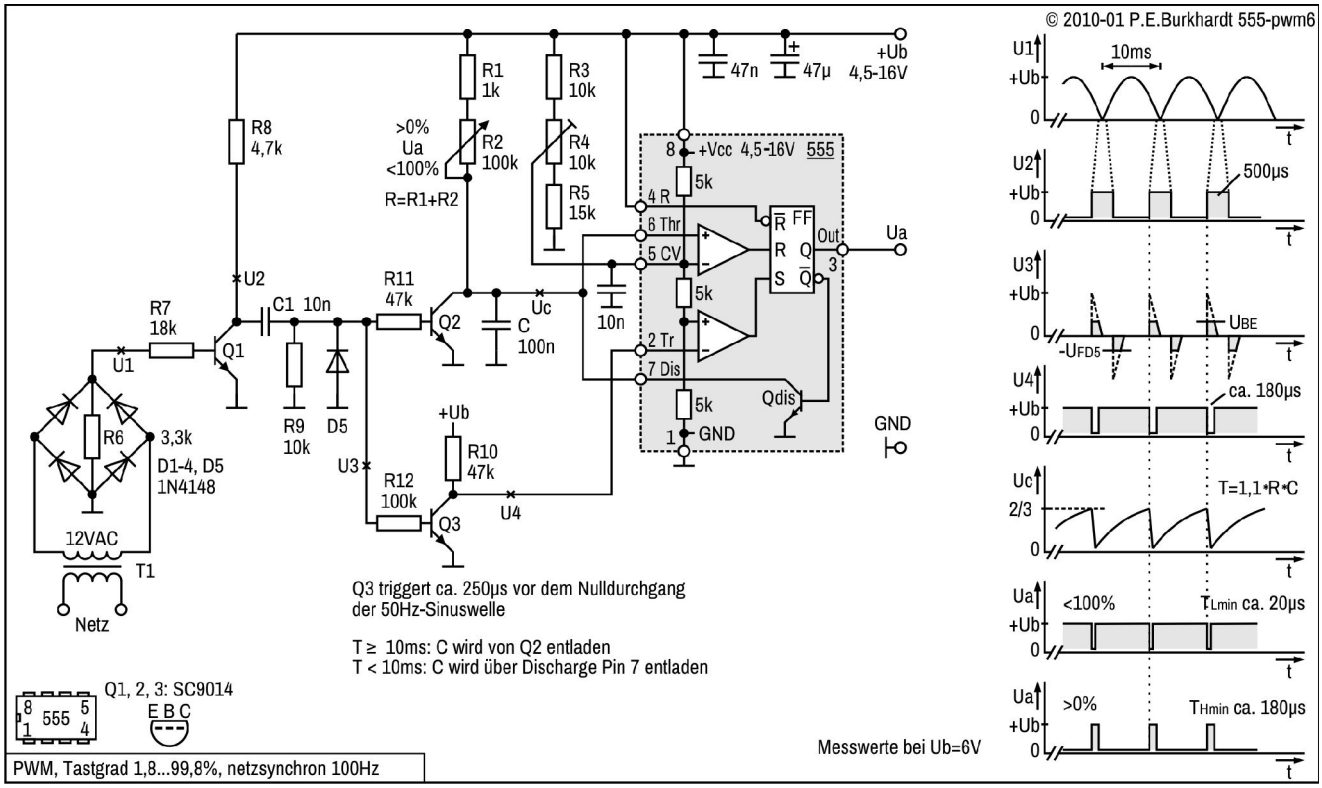
Fazit

Der Tastgrad lässt sich gut einstellen, die Frequenzabhängigkeit ist nicht zu groß. Die Anwendung in PWM-Schaltungen zur Leistungseinstellung ist gut möglich.

PWM mit netzsynchroner Frequenz

Sollen Lasten mit festem Bezug (synchron) zur Netzfrequenz geschaltet werden, ist die Ableitung der PWM-Schaltfrequenz aus dem Netz erforderlich. Die folgenden Schaltungen sind einfach, berücksichtigen aber nicht evtl. auftretende Netzstörungen in Nähe des Nulldurchgangs. Auch Phasenverschiebungen zwischen abgeleiteter Synchronfrequenz und der Frequenz des Leistungskreises werden hier nicht berücksichtigt und sind ggf. bei der Lastansteuerung auszugleichen.

PWM, 100 Hz, MMV



PWM mit Netzsynchronisation 100 Hz, Einschaltdauer einstellbar 2 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555 arbeitet als MMV mit einer einstellbaren Impulsdauer von 0 bis 10 ms. Die Triggerung erfolgt in jedem Nulldurchgang der Netz-Sinuswelle. Der Ausgang Ua führt während des MMV-Impulses H, während der Warte-Zeit bis zur nächsten Triggerung dagegen L. So ergibt sich ein einstellbarer Tastgrad innerhalb von 10 ms, synchronisiert durch die Netzfrequenz.

Schaltungsteile

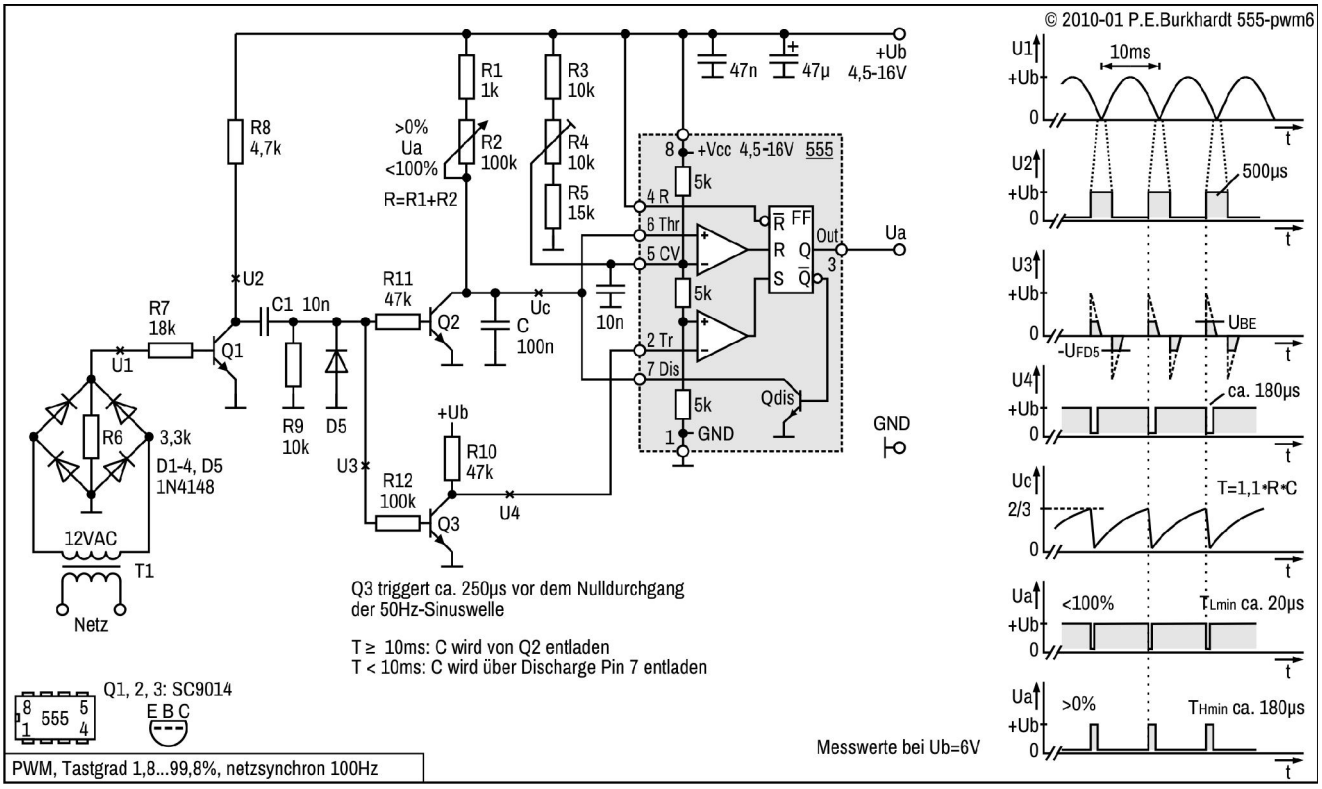
Grundlage ist der MMV mit Einstellung der Haltezeit (555, R1, R2, C). Entsprechend der geforderten Synchronisierung mit der Netzfrequenz müssen Synchronisierimpulse bereitgestellt werden (D1-D4, Q1), der MMV ist zu triggern (Q3) und es ist dafür zu sorgen, dass bei zu langer Haltezeit des MMV keine Fehlfunktion auftritt (Q2).

MMV mit 555

Der Monoflop mit dem 555 arbeitet in seiner Grundschaltung, wenn die Kollektorleitungen der Transistoren Q2 und Q3 abgetrennt sind und Pin 5 unbeschaltet bleibt. R1 + R2 bestimmen zusammen mit C die H-Zeit an Ua. Diese Zeit muss möglichst genau von 0 bis 10 ms einstellbar sein, um eine Einschaltdauer von 0 bis 100 % zu erreichen. Da R1 mindestens 1 kΩ sein sollte, ist eine minimale Haltezeit vorgegeben. Die längste Haltezeit sollte genau 10 ms betragen. Bauelemente-Toleranzen lassen das nicht zu.

Entweder es wird die maximale H-Zeit so festgelegt, dass sie mit Sicherheit unter 10 ms bleibt und deshalb der nächste Netz-Triggerimpuls den MMV neu anstoßen kann. Damit sind aber keine 100 % Einschaltdauer zu erreichen. Das heißt, Ua würde nicht zu 100 % eingeschaltet werden können.

Oder die maximale H-Zeit wird unter Beachtung der Toleranz aller zeitbestimmenden Bauteile so festgelgt, dass sie geringfügig länger als 10 ms ist. Dann ist aber eine regelmäßige Verkürzung auf genau 10 ms erforderlich, die durch den Synchronisierimpuls erfolgen muss. Diese Variante wird hier verwendet.



(Bild-Wiederholung)

Haltezeit-Dimensionierung und Abgleich mit CV

Mit den passenden Bauelementen (verfügbare Normwerte) für T = 10 ms (im Bild R1, R2 und C) ergibt sich rechnerisch eine maximale Haltezeit, die über 10 ms liegt (1,1 ∗ R ∗ C = 11,11 ms). Das soll sie auch, da die Toleranzen besonders von R2 und C die reale Haltezeit wieder verringern können.

Die Verkürzung auf genau 10 ms erfolgt über den Synchronisierimpuls. Die Differenz zwischen 10 ms und realer Haltezeit führt aber bei R2 zu einem toten oberen Einstellbereich. Um diesen Bereich zu minimieren, wird die Möglichkeit der CV-Einstellung an Pin 5 genutzt (CV = Control Voltage).

Eine CV-Verringerung bewirkt, dass Uc eher den Schwellwert an Pin 6 erreicht und damit die H-Zeit beendet. Mit R3-R4-R5 wird eine äußere Kontrollspannung zugeführt, die bei entsprechender Einstellung mit R4 den toten Bereich von R2 minimiert. Weiter unten ist der Abgleichvorgang beschrieben.

Synchronisierimpuls-Erzeugung

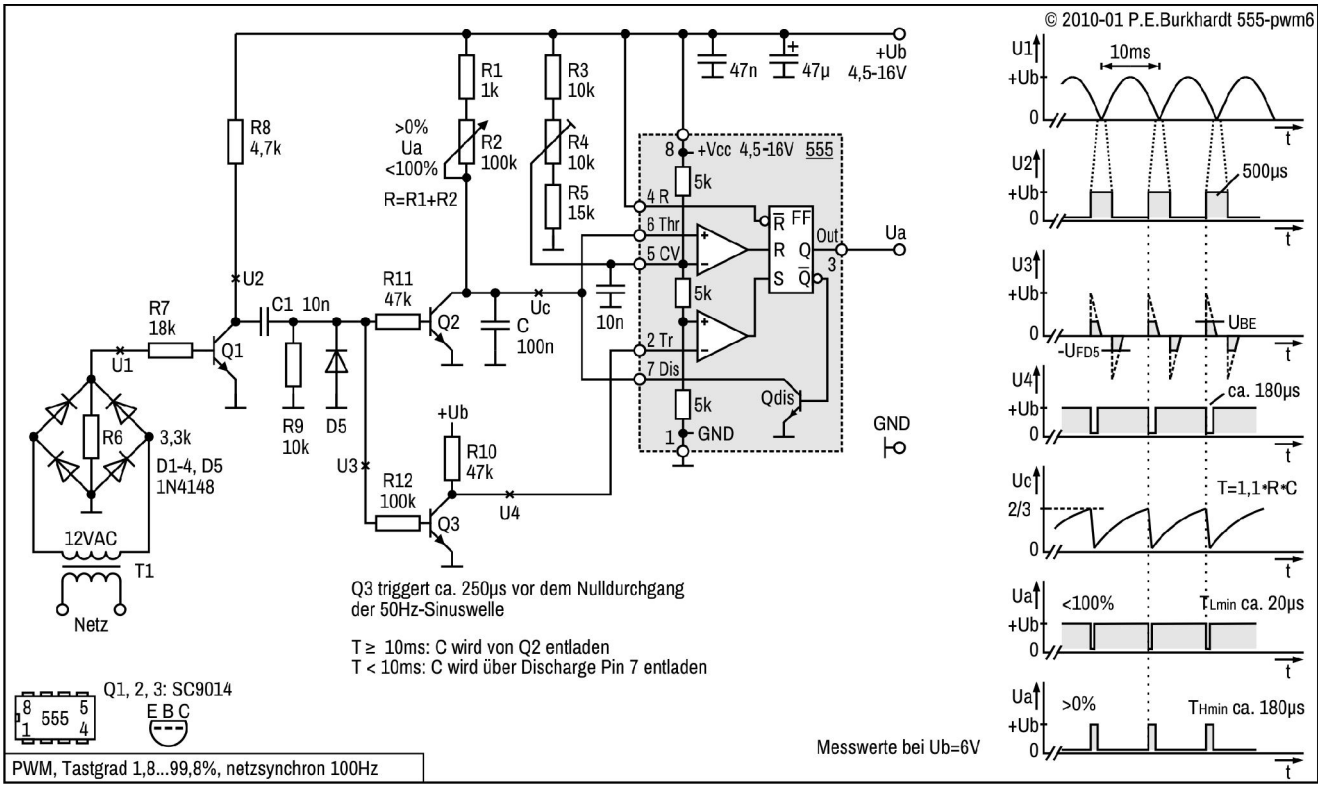
Die Netzfrequenz ist stabil, die Netzspannung aber oftmals nicht mehr sinusförmig. Eine Auswertung der Frequenz kann deshalb nur in Nähe des Nulldurchgangs (idealerweise genau im Nulldurchgang) erfolgen.

Trafo T1 stellt etwa 12 VAC für die Impuls-Gewinnung bereit. 6 bis 24 VAC und mehr sind auch möglich. Allerdings müssen bei höherer Spannung die Grundlast R6 und evtl. der Vorwiderstand R7 angepasst werden. Höhere Spannungen bewirken übrigens einen steileren Sinus-Nulldurchgang. Das ist gut für die zeitliche Genauigkeit des Synchronisierimpulses. Die Grundlast R6 verringert eine evtl. vorhandene Verzerrung der Sinusform.

Soll die Schaltung Verbraucher mit zwingender Netz-Null-Synchronisation ansteuern, muss die Versorgung dieser Verbraucher aus dem gleichen Trafo erfolgen (möglichst aus der gleichen Trafo-Wicklung). Nur so kann sich die Phasenverschiebung bei unterschiedlichen Trafos nicht auswirken. Der Bezug zum Nulldurchgang ginge dann verloren (aber nicht die Frequenz-Synchronisation).

Auch die vorliegende Schaltung und andere Baugruppen können zusammen mit der Impuls-Gewinnung aus einer Wicklung versorgt werden. Diese Stromversorgung einschließlich Lade-C ist dann durch eine zusätzliche Diode von der Greatz-Brücke D1 bis D4 zu entkoppeln.

D1 bis D4 liefern am Messpunkt U1 eine 100Hz-Spannung (siehe Bild). Aufgrund der Fluss-Spannungen von D1 bis D4 reicht U1 nicht ganz bis Null (GND). Transistor Q1 steuert deshalb in Null-Nähe mit einer bestimmten Breite durch. Am Kollektor (Messpunkt U2) entstehen Impulse mit einer Länge von ca. 500 µs. Damit steht ein Synchronisierimpuls zur Verfügung, der symmetrisch zum Nulldurchgang der Sinus-Spannung liegt.



(Bild-Wiederholung)

Synchronisierimpuls-Aufbereitung

Kondensator C1 und R9 differenzieren den Synchronisierimpuls so, dass positive und negative Impulse symmetrisch zu Masse entstehen (U3, siehe Bild). Der positive Impuls zu Beginn des Synchronisierimpulses (also vor dem Sinus-Nulldurchgang) wird verwendet, der negative mit Diode D5 abgeschnitten.

Die Zeitkonstante der Differenzierung wurde so gewählt, dass genügend Zeit zum Triggern und vor allem zum vollständigen Entladen des Kondensators C zur Verfügung steht.

MMV-Triggerung

Der positive Impuls U3 steuert Q3 durch. Wegen Pullup-Widerstand R10 liegt am Kollektor normalerweise H. Bei Durchsteuerung entstehen L-Impulse, die den 555 triggern (U4 im Bild). Somit wird immer kurz vor dem Sinus-Nulldurchgang ein neuer monostabiler Impuls angestoßen. Der Ausgang Ua geht auf H, C wird über R1-R2 aufgeladen, die Haltezeit des MMV beginnt.

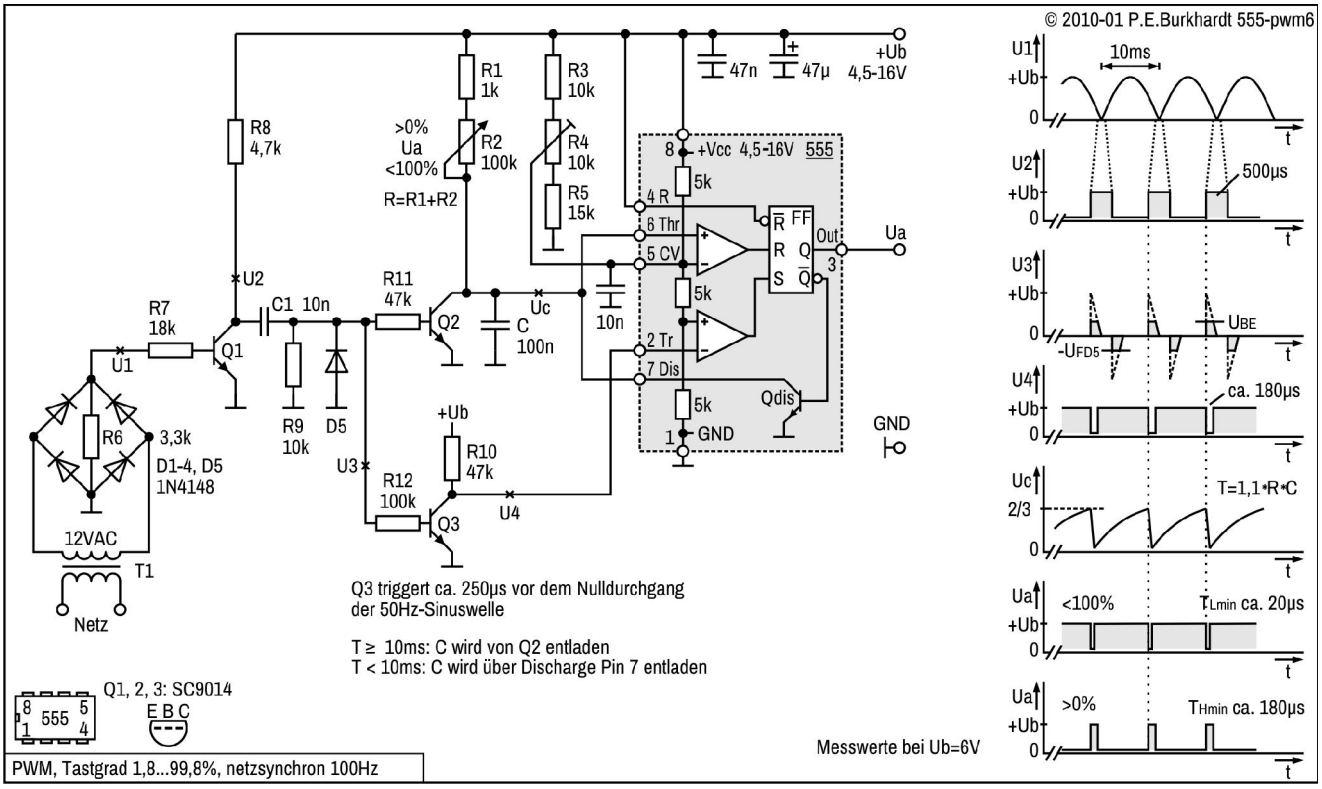
Erreicht Uc den Schwellwert an Pin 6, geht Ua wieder auf L, der interne Entladetransistor entlädt C, die H-Zeit ist zu Ende. Der MMV wartet nun wieder auf den nächsten Triggerimpuls. C wird aber nur über Pin 7 entladen, wenn die Haltezeit mit R2 kleiner als 100 % eingestellt ist (d.h. die H-Zeit ist kleiner als 10 ms).

Verkürzung der Haltezeit

Mit jedem Triggerimpuls wird auch Transistor Q2 durchgesteuert. Ist die H-Zeit schon zu Ende, ist auch C schon entladen. Q2 hat dann keinen Einfluss auf Uc. Ist dagegen die Haltezeit noch nicht zu Ende, entlädt Q2 den Kondensator C sofort und übernimmt damit die Funktion des internen Entladetransistors.

Für das Entladen von C durch Q2 wird eine bestimmte Zeit benötigt. Einfluss auf die Breite des Entladeimpulses hat das Differenzierglied C1-R9. Mit 180 µs ist dieser Impuls breit genug, um C zu entladen.

Der 555 wird also zum Ende der 10 ms in den Anfangszustand versetzt. C ist entladen und Q3 stößt mit seinem Triggerimpuls (U4) die nächste H-Zeit an. Damit ist die Synchronisation mit dem Netz-Nulldurchgang auch bei zu langer Haltezeit des MMV hergestellt.



(Bild-Wiederholung)

R4-Abgleich für Einstellbereich R2

Wie weiter oben schon beschrieben ist mit R4 die Kontrollspannung CV so einzustellen, dass am 100% -Ende von R2 möglichst kein toter Bereich entsteht. Das bedeutet, es muss verhindert werden, dass die durch Toleranzen der Bauelemente bedingte Ua-Haltezeit wesentlich größer als 10 ms ist.

1. Oszi und/oder Spannungsmesser an Ua
2. R2 in 100%-Stellung
3. R4 so verstellen, bis schmale L-Impulse am Oszi zu sehen sind (bzw. bis Ua gerade zu sinken beginnt)
4. R4 so abgleichen, dass die L-Impulse gerade verschwinden oder minimal werden (bzw. bis Ua nicht mehr ansteigt)

Damit ist die reale H-Zeit auf 10 ms abgeglichen und der maximale R2-Drehwinkel wird genutzt.

Schaltung ohne CV-Abgleich

Natürlich funktioniert die Schaltung auch ohne Abgleich der Kontrollspannung. R3-R4-R5 entfallen dann. Der Abblock-C an Pin 5 bleibt. Nachteil ist dann der geringe tote R2-Einstellbereich am 100%-Ende.

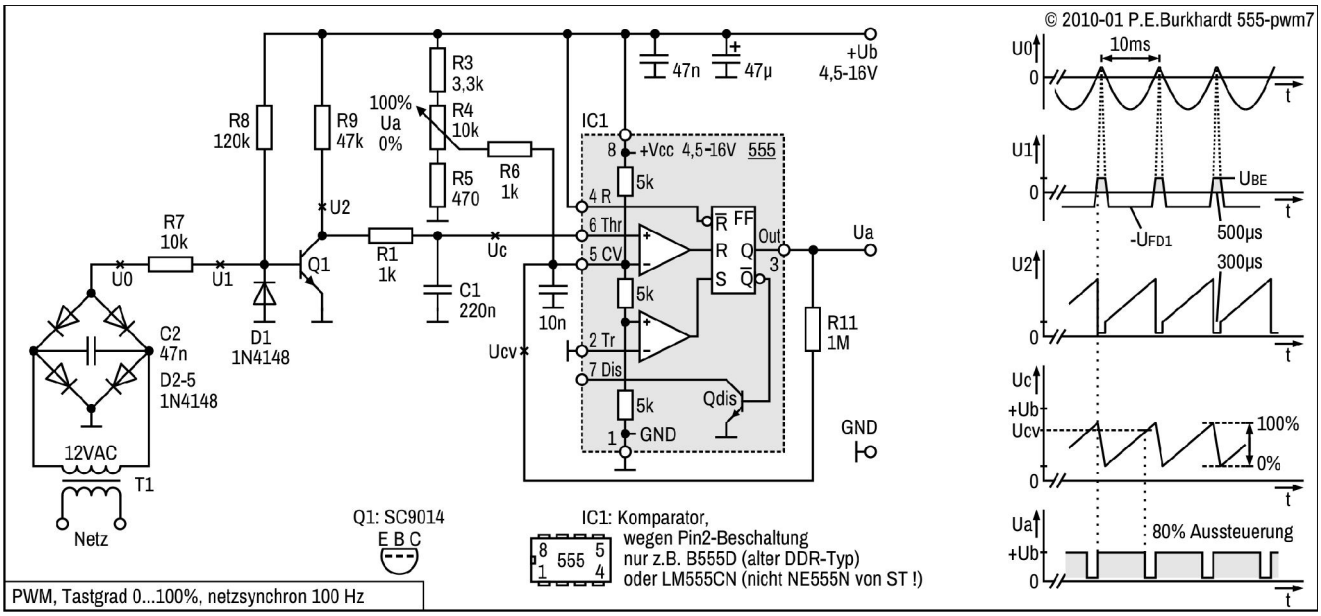
Man kann auch versuchen, mit einer Kondensator-Kombination für C auf die exakt 10 ms zu kommen. Auch dann würde ein toter R2-Bereich eliminiert. Der CV-Abgleich ist aber einfacher.

Fazit

Vorteil ist der große Einstellbereich für den Tastgrad bei 100Hz-Netzsynchronisation. Auch bei durch Toleranz der Bauelemente längerer MMV-Haltezeit ist die exakte Funktion und Synchronisation gewährleistet. Es gibt einfache Schaltungen, die dies nicht erfüllen.

Mit leicht geänderter Synchronisierimpuls-Erzeugung ist auch 50Hz-Synchronisation möglich. Zu verbessern wäre die exaktere Auswertung des Nulldurchgangs, falls dies in der konkreten Anwendung erforderlich ist.

PWM, 100 Hz, 555-Komparator (2-GND)



PWM mit Netzsynchronisation 100 Hz, Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator vergleicht die Kondensatorspannung Uc mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Mit Uc größer als Ucv liegt Ua auf L. Wird Uc kleiner als Ucv, schaltet Ua auf H.

Der Kondensator C1 wird während jeder Netz-Sinus-Halbwelle aufgeladen, dagegen während jedem Nulldurchgang der Netz-Sinuswelle mit Q1 entladen. In der 10ms-Ladezeit ist die Pulsweite (H-Anteil) von Ua mit Ucv regelbar.

Lade-/Entladesteuerung

C1 wird in jeder Sinus-Halbwelle über R9 + R1 aufgeladen. Dabei soll sich Uc möglichst in der Mitte des Ub-Bereichs bewegen und einen großen Hub haben. Uc muss im Steuerbereich von Ucv bleiben. R9, R1 und C1 sind entsprechend dimensioniert. Bei einer anderen Netzfrequenz müssen R9 und evtl. C1 angepasst werden.

Die schnelle Entladung erfolgt im Netz-Nulldurchgang mit Transistor Q1 über R1. Dazu werden an der Basis von Q1 positive Impulse benötigt.

Trafo T1 stellt etwa 12 VAC für die Impuls-Gewinnung bereit. 6 bis 24 VAC und mehr sind auch möglich. Allerdings muss bei höherer Spannung evtl. der Vorwiderstand R7 angepasst werden. Höhere Spannungen bewirken übrigens einen steileren Sinus-Nulldurchgang. Das ist gut für die zeitliche Genauigkeit des Synchronisierimpulses. C2 verringert HF-Einstreuungen.

D2 bis D5 liefern am Messpunkt U0 eine gegen GND negative 100Hz-Spannung (siehe Bild). Spannungsteiler R7-R8 verschiebt diese Spannung an der Basis von Q1 so, dass die positiven Null-Spitzen den Transistor Q1 durchsteuern (siehe U1-Diagramm).

Am Q1-Kollektor entstehen schmale L-Impulse U2, die C1 über R1 entladen. D1 begrenzt den negativen Teil von U1 und schützt somit die Basis-Emitter-Strecke von Q1.

Tastgrad

Spannungsteiler R3-R4-R5 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine regelbare Vergleichsspannung Ucv, die dem Hub der Kondensatorspannung Uc entspricht.

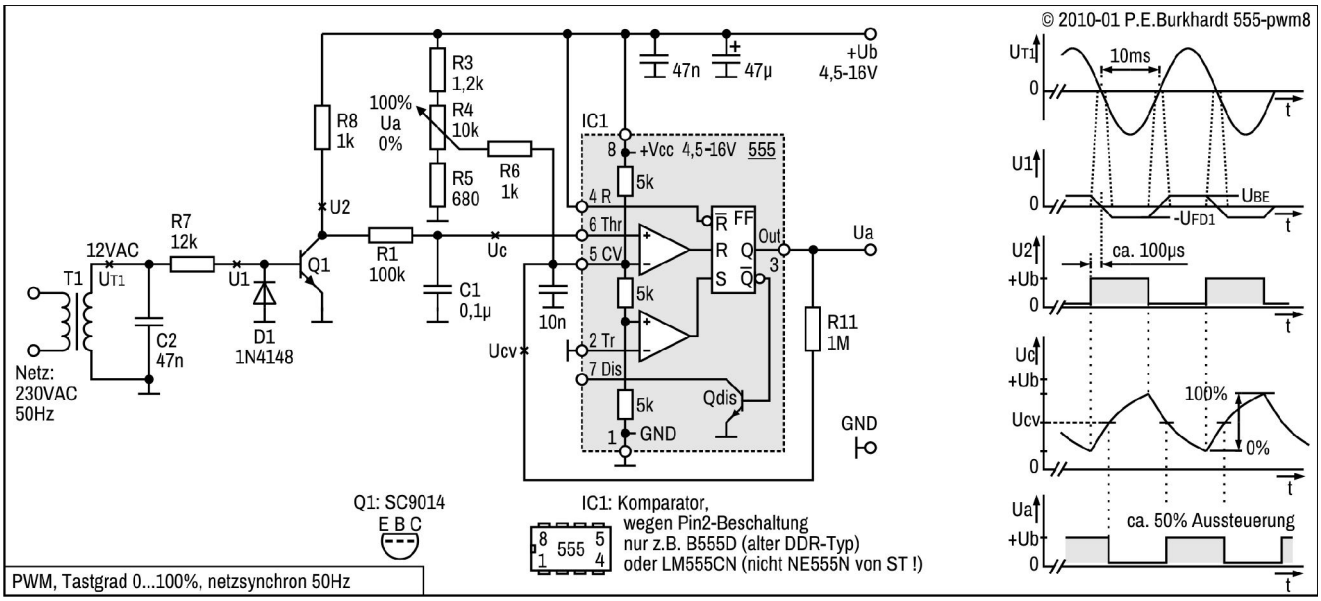
Wird Ucv zwischen Ucmin und Ucmax verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an Ua zwischen 0 und 100 % der 10ms-Ladezeit von C1.

R3 und R5 wurden so dimensioniert, dass sich am 0%-Anfang und am 100%-Ende ein möglichst geringer toter Regelbereich ergibt. Falls erforderlich oder bei anderem gewünschten Regelbereich sind R3 und R5 anzupassen.

Fazit

Vorteil ist, dass eine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist bei 100Hz-Netzsynchronisation. Bei der gezeigten Bauteile-Dimensionierung ist kein Abgleich erforderlich. Die Schaltung funktioniert im gesamten Ub-Bereich des 555. Als Komparator ist nicht jede 555-Ausführung geeignet. Typ-Hinweise sind im Bild enthalten.

PWM, 50 Hz, 555-Komparator (2-GND)



PWM mit Netzsynchronisation 50 Hz, Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator vergleicht die Kondensatorspannung Uc mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Mit Uc größer als Ucv liegt Ua auf L. Wird Uc kleiner als Ucv, schaltet Ua auf H.

Der Kondensator C1 wird während der negativen Netz-Sinus-Halbwelle aufgeladen, dagegen während der positiven Sinus-Halbwelle mit Q1 entladen. In der 20ms-Lade-/Entladezeit ist die Pulsweite (H-Anteil) von Ua mit R4 (Ucv) regelbar.

Lade-/Entladesteuerung

C1 wird in jeder negativen Sinus-Halbwelle über R8 + R1 aufgeladen. Die Entladung erfolgt während jeder positiven Sinus-Halbwelle über R1 und Transistor Q1. Da R1 >> R8 ist, sind Lade- und Entladezeit fast gleich.

Uc soll sich möglichst in der Mitte des Ub-Bereichs bewegen und einen großen Hub haben. Uc muss im Steuerbereich von Ucv bleiben. R8, R1 und C1 sind entsprechend dimensioniert. Bei einer anderen Netzfrequenz müssen R1 und evtl. C1 angepasst werden.

An der Basis von Q1 werden netzsynchrone Rechteckimpulse benötigt, die Q1 für die C1-Aufladung sperren, für die Entladung dagegen durchsteuern.

Trafo T1 stellt etwa 12 VAC für die Impuls-Gewinnung bereit. 6 bis 24 VAC und mehr sind auch möglich. Allerdings muss bei höherer Spannung evtl. der Vorwiderstand R7 angepasst werden. Höhere Spannungen bewirken übrigens einen steileren Sinus-Nulldurchgang. Das ist gut für die zeitliche Genauigkeit der Synchronisierimpulse. C2 verringert HF-Einstreuungen.

Die Sinuswelle wird direkt über R7 der Basis von Q1 zugeführt. Der positive Sinuswellen-Anteil steuert Q1 durch und bewirkt die Entladung von C1 über R8. Während des negativen Sinuswellen-Anteils ist Q1 gesperrt und C1 wird über R1 + R8 geladen.

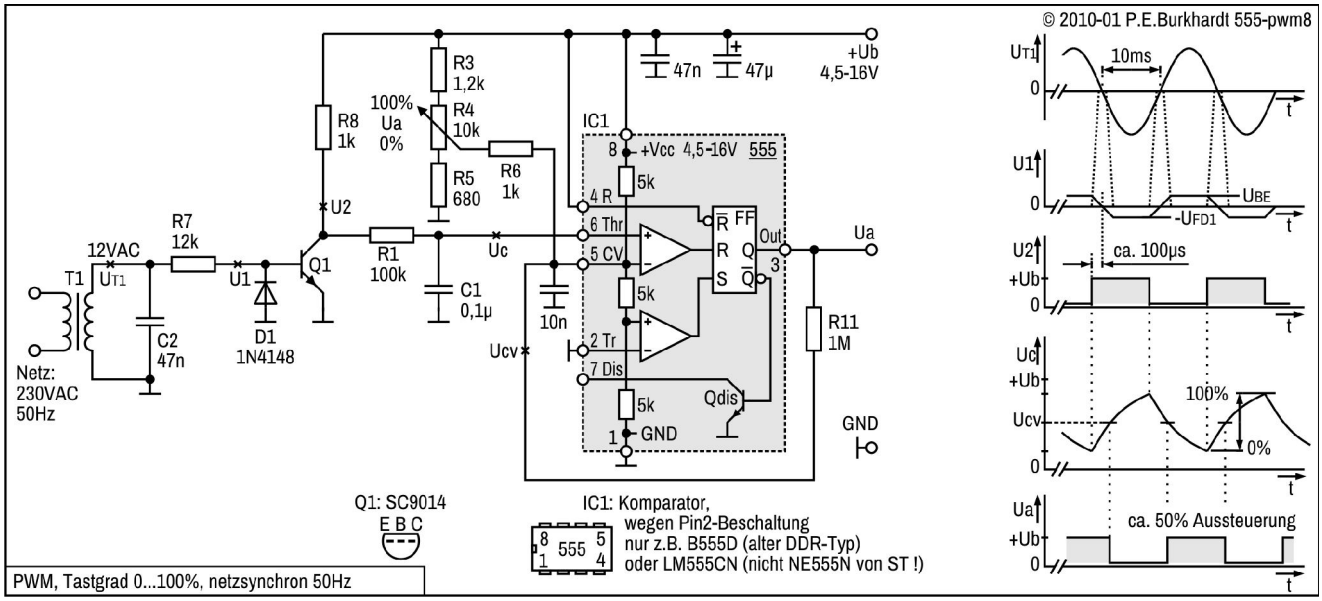
D1 begrenzt den negativen Teil von U1 und schützt somit die Basis-Emitter-Strecke von Q1.

Tastgrad

Spannungsteiler R3-R4-R5 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine regelbare Vergleichsspannung Ucv, die dem Hub der Kondensatorspannung Uc entspricht.

Wird Ucv zwischen Ucmin und Ucmax verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an Ua zwischen 0 und 100 % der 20ms-Ladezeit von C1.

R3 und R5 wurden so dimensioniert, dass sich am 0%-Anfang und am 100%-Ende ein möglichst geringer toter Regelbereich ergibt. Falls erforderlich oder bei anderem gewünschten Regelbereich sind R3 und R5 anzupassen.



(Bild-Wiederholung)

Fazit

Vorteil ist, dass eine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist bei 50Hz-Netzsynchronisation. Mit der gezeigten Bauteile-Dimensionierung ist kein Abgleich erforderlich. Die Schaltung funktioniert im gesamten Ub-Bereich des 555.

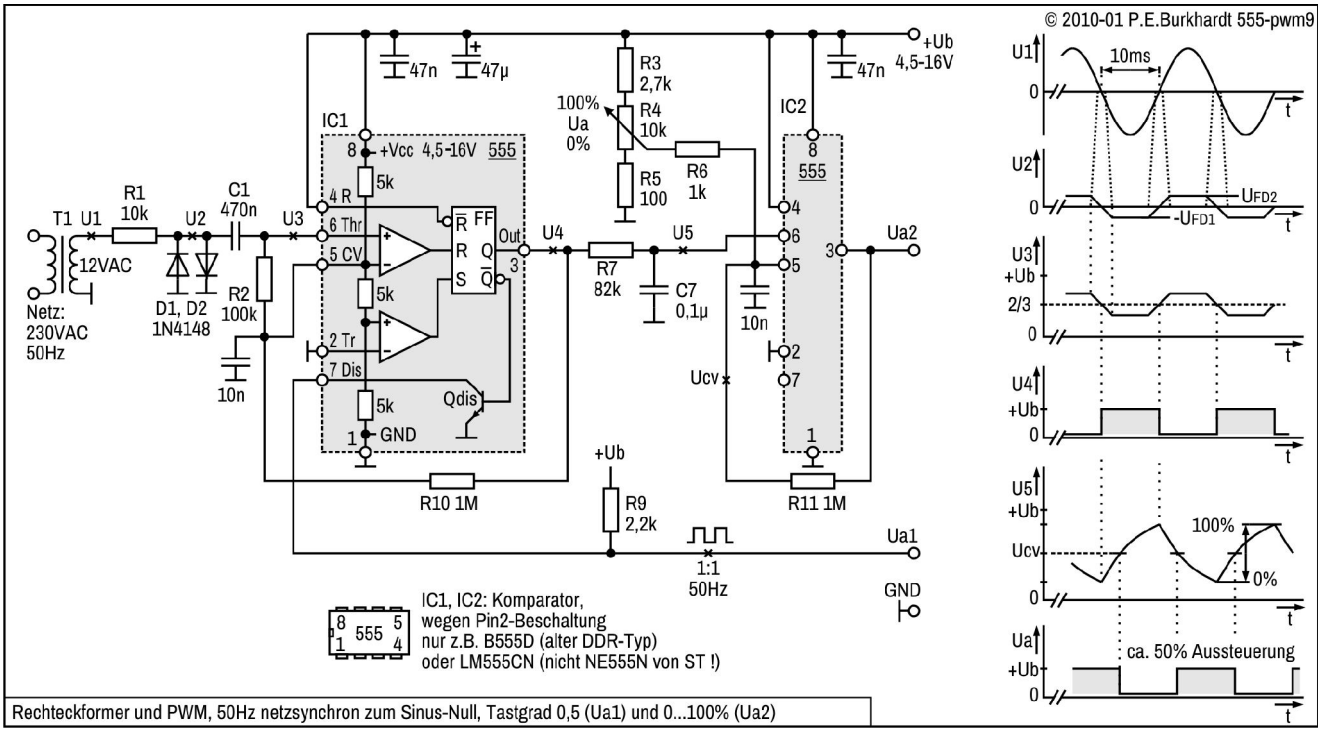
Die H-Zeit von Ua beginnt innerhalb der Netzfrequenz-Periode zu unterschiedlichen Zeitpunkten (abhängig vom eingestellten Tastgrad), ist also nicht an den Nulldurchgang gekoppelt.

Als Komparator ist nicht jede 555-Ausführung geeignet. Pin 2 auf Masse geschaltet muss den Signalwechsel an Pin 3 zulassen, wenn die Kontroll-Spannung an Pin 5 den Schwellspannungs-Wert an Pin 6 über- oder unterschreitet. Typ-Hinweise sind im Bild enthalten.

PWM, 50Hz-Rechteck, 2x 555-Komparator (2-GND)

Schaltung und Funktion

Neben der netzsynchronen 50Hz-PWM steht mit Ua1 ein Rechtecksignal zur Verfügung, dessen Schaltflanken genau dem Sinus-Nulldurchgang entsprechen. Ua1 ist zum Trafo-Sinussignal U1 um 180° phasenverschoben (invertiert).



Rechteckformer und PWM, 50Hz netzsynchron zum Sinus-Null, Tastgrad 0,5 (Ua1) und 0...100% (Ua2)

Rechteckformer und PWM mit Netzsynchronisation 50 Hz, Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der erste 555-Komparator (IC1) wertet die Nulldurchgänge des Netz-Sinussignals U1 aus. Es entsteht ein Rechtecksignal U4 für die Ansteuerung des PWM und Ua1 mit gleicher Phasenlage zur weiteren Anwendung.

Der zweite 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U5 mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Mit U5 größer als Ucv liegt Ua2 auf L. Wird U5 kleiner als Ucv, schaltet Ua2 auf H.

Der Kondensator C7 wird während der negativen Netz-Sinus-Halbwelle über R7 vom ersten Komparator-Ausgang Out 3 (U4) aufgeladen, dagegen während der positiven Sinus-Halbwelle über Out 3 (U4) entladen. In der 20ms-Lade-/Entladezeit ist die Pulsweite (H-Anteil) von Ua2 mit R4 (Ucv) regelbar.

Rechteckformer

Trafo T1 stellt etwa 12 VAC für die Impuls-Gewinnung bereit. 6 bis 24 VAC und mehr sind auch möglich. Höhere Spannungen bewirken übrigens einen steileren Sinus-Nulldurchgang. Das ist gut für die zeitliche Genauigkeit der Rechteckimpulse.

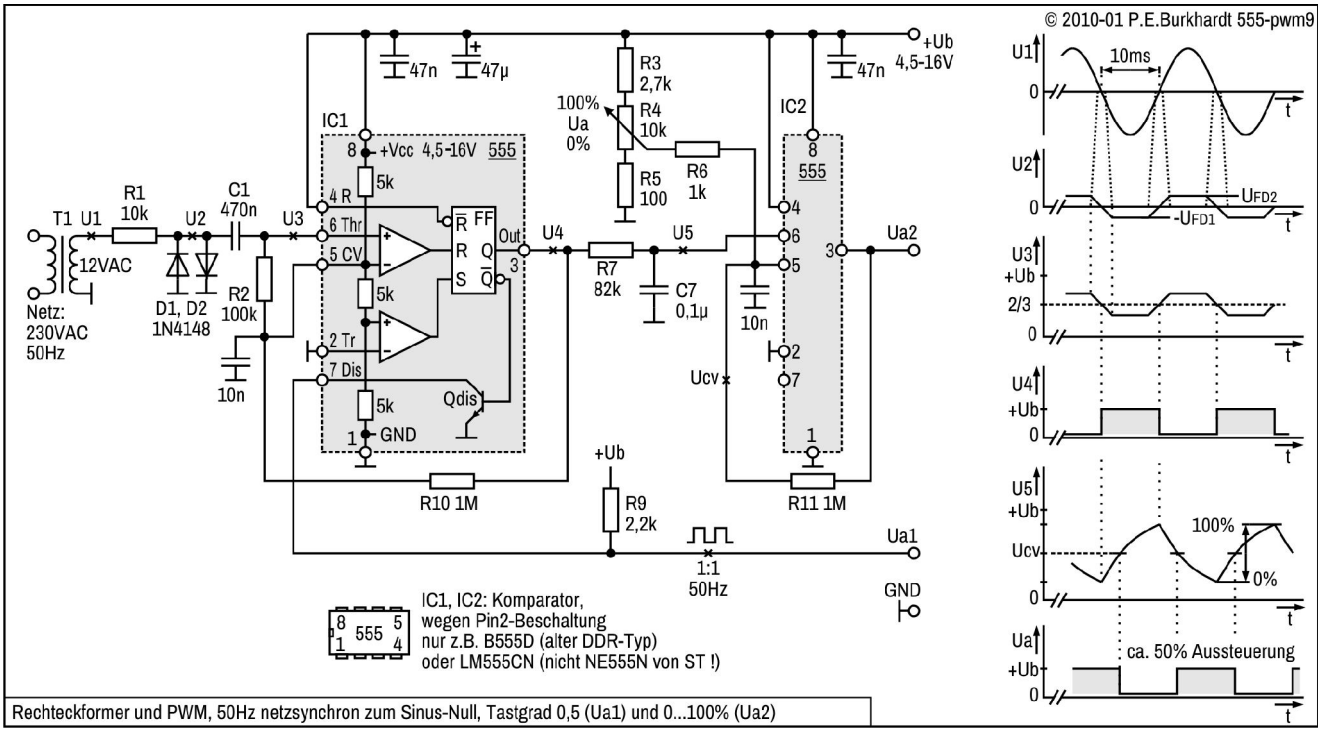
Die Sinuswelle wird mit den Dioden D1-D2 auf deren Fluss-Spannung begrenzt. Damit können an Pin 6 des 555 keine unzulässigen Spannungen auftreten.

Für den richtigen Arbeitsbereich zur Erkennung des Sinus-Nulldurchgangs wird U2 kapazitiv über C1 an den Threshold-Eingang Pin 6 angekoppelt. In Verbindung mit R2, der am CV-Eingang Pin 5 hängt, ergibt sich ein Pendeln der gekappten Sinusschwingung um den Wert 2/3 von Ub. Der 555-Komparator schaltet schon bei wenigen mV (<10 mV) Spannungsänderung am Pin 6 um.

Damit diese hohe Empfindlichkeit aufgrund der endlichen Anstiegszeit des Sinussignals im Nulldurchgang nicht zu Schwingungen am Ausgang Pin 3 führt, sorgt die Rückkopplung mit R10 für eine Hysterese. Der Schwingungsbereich wird ausgeblendet. Trotzdem wird der Nulldurchgang innerhalb weniger mV präzise erkannt.

Die null-synchrone Rechteckschwingung mit dem Tastgrad 0,5 steht am Ausgang Pin 3 zur Lade-/Entladesteuerung des RC-Gliedes R7-C7 für die PWM zur Verfügung.

Zeitgleich wird auch der interne Ladetransistor des 555 durchgesteuert, so dass über Pin 7 die entkoppelte und null-synchrone Rechteckschwingung Ua1 gewonnen werden kann.



Rechteckformer und PWM, 50Hz netzsynchron zum Sinus-Null, Tastgrad 0,5 (Ua1) und 0...100% (Ua2)

(Bild-Wiederholung)

Lade-/Entladesteuerung

C7 wird in jeder negativen Sinus-Halbwelle über den oberen Zweig der 555-Ausgangsstufe von Ub aus über R7 aufgeladen. Die Entladung erfolgt während jeder positiven Sinus-Halbwelle über R7 und den unteren Zweig der 555-Ausgangsstufe nach Masse. Lade- und Entladezeit sind gleich, wenn die unterschiedlichen Innenwiderstände der Pfade nach Ub und Masse vernachlässigt werden.

Die Spannung am Threshold-Eingang Pin 6 (IC2) soll sich möglichst in der Mitte des Ub-Bereichs bewegen und einen großen Hub haben. Spannung U5 über C7 muss im Steuerbereich von Ucv bleiben. R7 und C7 sind entsprechend dimensioniert. Bei einer anderen Netzfrequenz müssen R7 und evtl. C7 angepasst werden.

Tastgrad

Spannungsteiler R3-R4-R5 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine regelbare Vergleichsspannung Ucv, die dem Hub der Kondensatorspannung U5 entspricht.

Wird Ucv zwischen U5min und U5max verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an Ua2 zwischen 0 und 100 % der 20ms-Ladezeit von C7.

R3 und R5 wurden so dimensioniert, dass sich am 0%-Anfang und am 100%-Ende ein möglichst geringer toter Regelbereich ergibt. Falls erforderlich oder bei anderem gewünschten Regelbereich sind R3 und R5 anzupassen.

Fazit

Das Besondere der Schaltung ist die Impulsformung mit dem 555-Komparator IC1. Mit vergleichsweise geringem Aufwand steht ein Rechtecksignal zur Verfügung, dessen Schaltflanken mit dem Nulldurchgang der Netzwechselspannung präzise übereinstimmt. In Anwendungen mit erforderlicher Null-Synchronisation ist der Ausgang Ua1 bestens geeignet.

Die Einschaltdauer ist von 0 bis 100 % einstellbar ist bei 50Hz-Netzsynchronisation. Mit der gezeigten Bauteile-Dimensionierung ist kein Abgleich erforderlich. Die Schaltung funktioniert im gesamten Ub-Bereich des 555.

Die H-Zeit von Ua2 beginnt innerhalb der Netzfrequenz-Periode zu unterschiedlichen Zeitpunkten (abhängig vom eingestellten Tastgrad), ist also nicht an den Nulldurchgang gekoppelt.

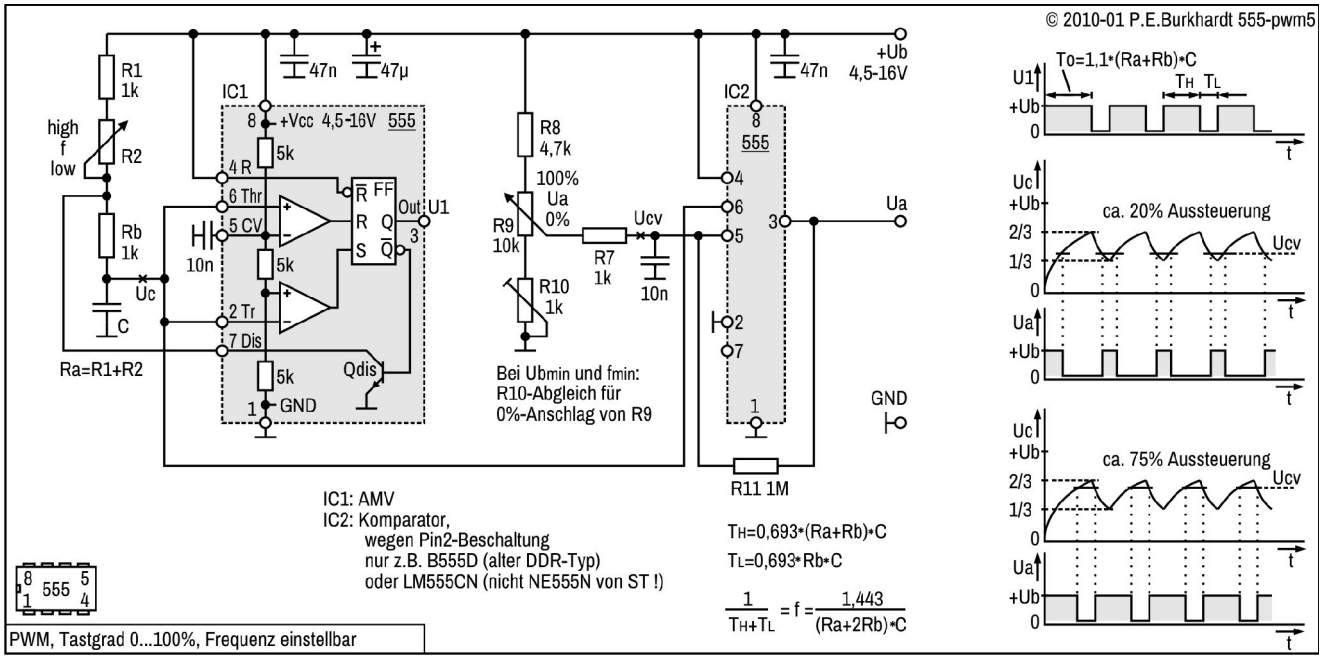
Als Komparator ist nicht jede 555-Ausführung geeignet. Pin 2 auf Masse geschaltet muss den Signalwechsel an Pin 3 zulassen, wenn die Kontroll-Spannung an Pin 5 den Schwellspannungs-Wert an Pin 6 über- oder unterschreitet. Typ-Hinweise sind im Bild enthalten.

PWM mit einstellbarer Frequenz

PWM, AMV + 555-Komp. (2-GND)

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar (sinnvoll bis 1 kHz, max. 10 kHz)
- 555 als Komparator (nur LM555 bzw. B555)



PWM mit 555-Komparator (LM555), Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung Uc des AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Mit Uc größer als Ucv liegt Ua auf L. Wird Uc kleiner als Ucv, schaltet Ua auf H.

Tastgrad

Spannungsteiler R8-R9-R10 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen 1/3 und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als Uc liefert.

Wird Ucv zwischen 1/3 und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an Ua zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C.

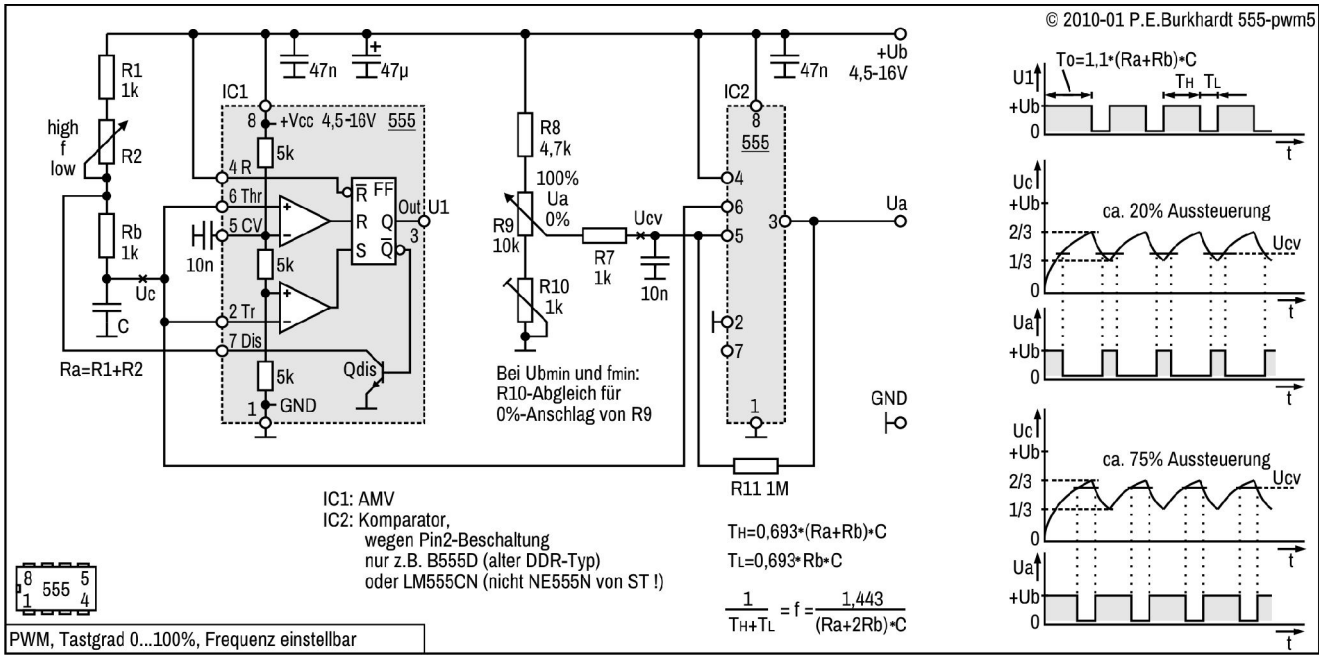
Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt Ua permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < 1/3 von Ub liegt Ua permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R8-R9-R10 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis R9 möglichst genau dem Bereich 1/3 bis 2/3 von Ub entspricht (0 bis 100 %).

Der 0%-Anschlag des Potis R9 kann mit R10 eingestellt werden. Damit wird sichergestellt, dass bei 0% -Einstellung auch wirklich keine Ua vorhanden ist (Ua = L). Andererseits wird ein evtl. vorhandener toter Bereich am Poti-Anfang vermieden.

Der 100%-Anschlag des Potis ist nicht so kritisch, ein kleiner toter Bereich mit 100%-Aussteuerung schadet nicht. Wie groß dieser 100%-Bereich am Einstellende ist, bestimmt R8 und die Wert-Toleranz von R9.

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, entsprechend gelten auch die Standardgleichungen wie im Bild angegeben.



(Bild-Wiederholung)

Praktische Dimensionierung

Mit R1 = Rb = 1 kΩ und der gewünschten Impulsfrequenz ergaben sich die gemessenen (ist) und berechneten (soll) Werte:

R1 = Rb	R2 (Poti)	C	Frequenz (ist)	Frequenz (soll)	Ub
1 kΩ	100 ... 0 kΩ	10 nF	1,25 ... 40 kHz	1,4 ... 48,0 kHz	6,0 V
1 kΩ	100 ... 0 kΩ	47 nF	0,285 ... 10 kHz	0,297 ... 10,2 kHz	6,0 V
1 kΩ	100 ... 0 kΩ	100 nF	0,139 ... 4,5 kHz	0,140 ... 4,8 kHz	6,0 V
1 kΩ	100 ... 0 kΩ	0,47 µF	30 ... 1040 Hz	29,7 ... 1021 Hz	6,0 V
1 kΩ	5,2 kΩ (fest)	1 µF	201 Hz	200 Hz	6,0 V

Fazit

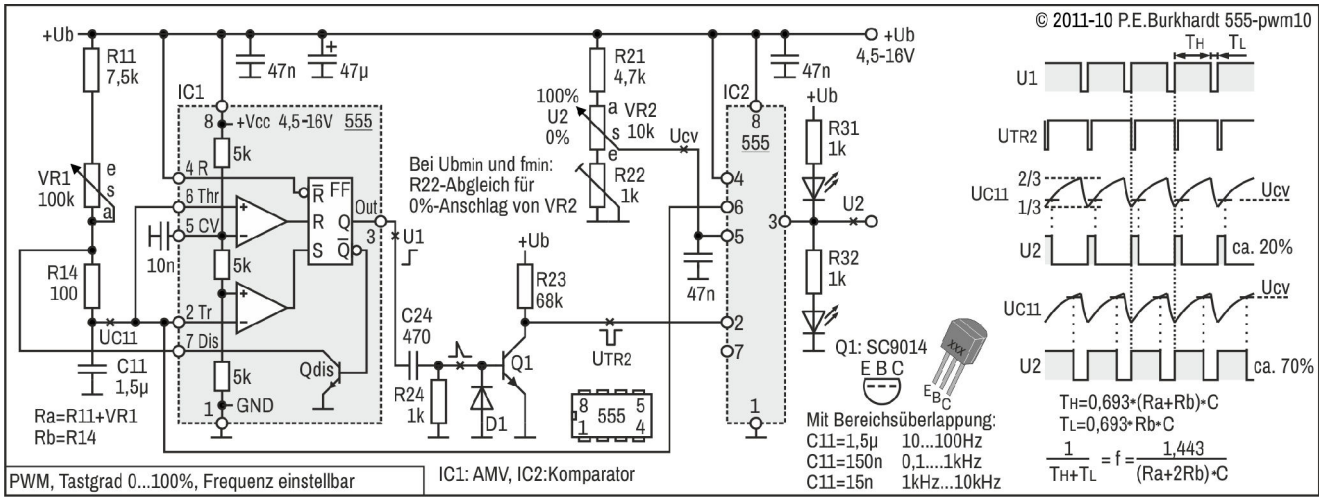
Vorteil ist, dass eine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist. Auch die Frequenz kann entsprechend den 555-Möglichkeiten an fast jede PWM-Anwendung angepasst werden.

Allerdings ist als Komparator nicht jede 555-Ausführung geeignet. Pin 2 auf Masse geschaltet muss den Signalwechsel an Ua zulassen, wenn die Kontroll-Spannung an Pin 5 den Schwellspannungs-Wert an Pin 6 über- oder unterschreitet. Typ-Hinweise sind im Bild enthalten.

PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert über Transistor)

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 % (optische Kontrolle mit LEDs)
- Frequenz einstellbar (sinnvoll bis 1 kHz, max. 10 kHz)
- 555 als Komparator (alle 555-Typen) mit Trigger-Schaltung



PWM mit 555-Komparator (alle Typen), Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je größer Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des 555-Ausgangs U2 auf H erfolgt mit Ende der kurzen AMV-L-Zeit. Dazu wird der Komparator-555 (IC2) mit der steigenden Flanke des AMV-H-Impulses getriggert. In der restlichen Zeit liegt der Trigger-Eingang auf H. Nur deshalb funktionieren alle 555-Typen, da Pin 2 nicht dauerhaft auf GND geschaltet ist.

Tastgrad

Spannungsteiler R21-VR2-R22 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen 1/3 und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert.

Wird Ucv zwischen 1/3 und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < 1/3 von Ub liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R21-VR2-R22 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 möglichst genau dem Bereich 1/3 bis 2/3 von Ub entspricht (0 bis 100 %).

Der 0%-Anschlag des Potis VR2 kann mit R22 eingestellt werden. Damit wird sichergestellt, dass bei 0% -Einstellung auch wirklich keine Ausgangsspannung U2 vorhanden ist (U2 = L). Andererseits wird ein evtl. vorhandener toter Bereich am Poti-Anfang vermieden.

Trigger-Schaltung

Jede steigende U1-Flanke bewirkt wegen der Differenzierung mit C24-R24 das kurze Durchsteuern des Transistors Q1. Am Q1-Kollektor ergibt sich ein Triggerimpuls (U_{TR2}), der das 555-FF des Komparators setzt, d. h. der 555-Ausgang U2 wird H.

Das Differenzierglied und R23 sind so bemessen, dass der Triggerimpuls möglichst kurz, aber auch lang genug zum sicheren Triggern für IC2 ist. Der Triggerimpuls ist ein sauberer L-Impuls von +Ub bis GND am Anfang der AMV-H-Zeit.

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, entsprechend gelten auch die Standardgleichungen wie im Bild angegeben.

Allerdings wird bei höheren Frequenzen die untere AMV-Schaltschwelle (1/3 von Ub) wegen der sehr kurzen C11-Entladung (kurze AMV-L-Zeit) unterschritten. Das hat zur Folge, dass der R22-Abgleich nicht mehr stimmt. R22 kann aber trotzdem so eingestellt werden, dass sowohl 0 % als auch 100 % Einschaltdauer möglich sind.

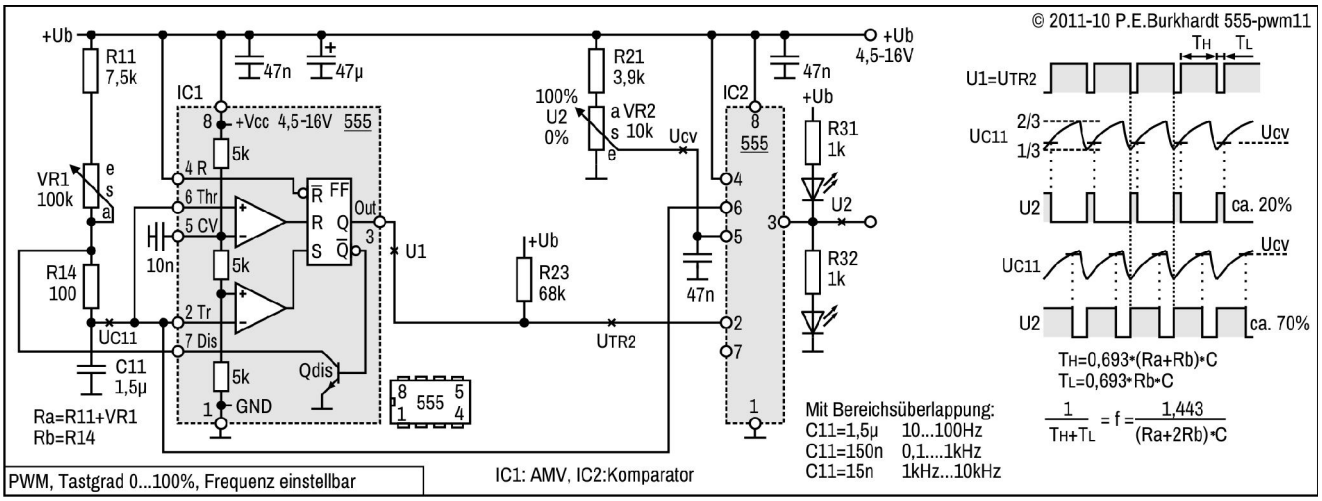
Bei Schaltschwellen-Unterschreitung springt die U2-Aussteuerung von einigen 10 Mikrosekunden auf Null. Es ist also ein kleiner diskontinuierlicher Bereich vorhanden.

PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert direkt)

Diese PWM-Schaltung ist gegenüber der vorigen etwas vereinfacht bei ähnlichen Eigenschaften.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 % (optische Kontrolle mit LEDs)
- Frequenz einstellbar (sinnvoll bis 1 kHz, max. 10 kHz)
- 555 als Komparator (alle 555-Typen) mit Triggerung



PWM mit 555-Komparator (alle Typen), Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je größer Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des 555-Ausgangs U2 auf L erfolgt mit Ende der AMV-H-Zeit. Dazu wird der Komparator-555 (IC2) mit der fallenden Flanke des AMV-H-Impulses am Komparator-Trigger-Eingang Pin 2 getriggert. Nach dem kurzen AMV-L-Impuls liegt der Trigger-Eingang für die restliche Zeit wieder auf H. Nur deshalb funktionieren alle 555-Typen, da Pin 2 nicht dauerhaft auf GND geschaltet ist.

Tastgrad

Spannungsteiler R21-VR2 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Dabei ist der untere Schwellwert im Normalfall 1/3 von Ub, mit kleinem Kondensator C11 auch weniger.

Wird Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < U_{C11} liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R21-VR2 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %).

Sowohl der 0%-Anschlag als auch der 100%-Anschlag des Potis VR2 hat einen geringen toten Bereich, der aber der Einfachheit halber bewusst in Kauf genommen wurde. Es sind so auch hohe AMV-Frequenzen ohne Abgleich möglich.

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, entsprechend gelten auch die Standardgleichungen wie im Bild angegeben.

Allerdings wird bei höheren Frequenzen die untere AMV-Schaltschwelle (1/3 von Ub) wegen der sehr kurzen C11-Entladung (kurze AMV-L-Zeit) unterschritten. Durch die großzügige Dimensionierung des Ucv-Spannungsteilers sind auch für diesen Fall keine Widerstandsänderungen erforderlich. Der tote Einstellbereich von VR2 in 0%-Nähe verringert sich entsprechend.

Fazit

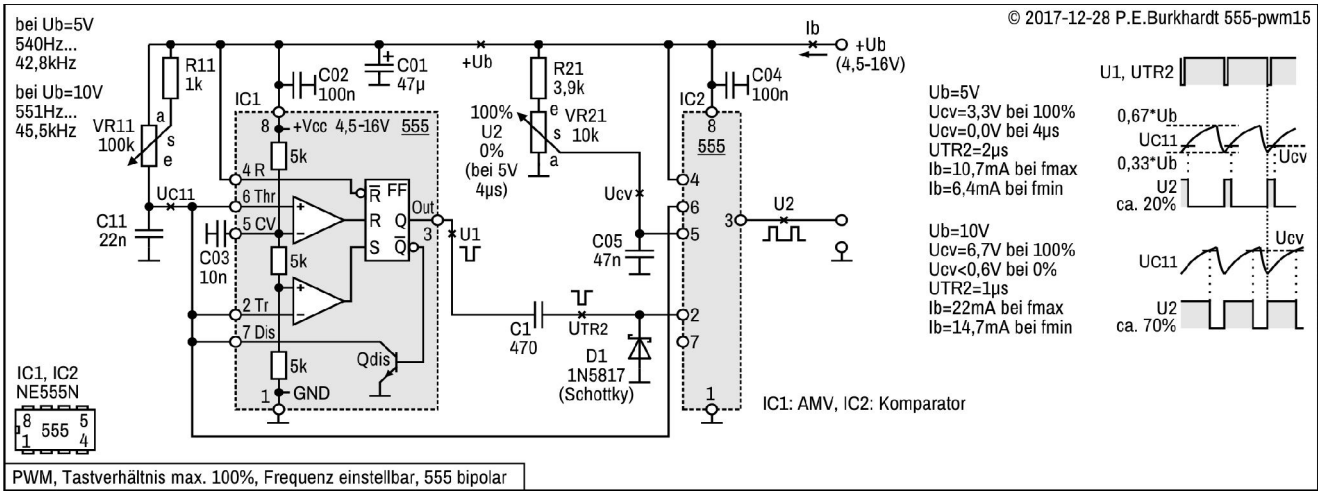
Vorteil ist, dass eine Einschaltdauer von 0 bis 100 % einstellbar ist. Auch die Frequenz kann entsprechend den 555-Möglichkeiten an fast jede PWM-Anwendung angepasst werden. Als Komparator sind alle 555-Typen geeignet.

PWM, AMV + 555-Komp. (getriggert über C)

Diese PWM-Schaltung arbeitet ebenfalls mit 2 bipolaren 555, der erste als AMV, der zweite wieder als Komparator. Die Triggerung des Komparators erfolgt über einen kleinen Kondensator.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar von 550 Hz bis über 40 kHz
- 555 als Komparator (alle 555-Typen) mit C-Triggerung



Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je größer Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des 555-Ausgangs U2 auf L erfolgt mit Ende der AMV-H-Zeit. Dazu wird der Komparator-555 (IC2) mit der fallenden Flanke des AMV-H-Impulses am Komparator-Trigger-Eingang Pin 2 getriggert. Nach dem kurzen AMV-L-Impuls liegt der Trigger-Eingang für die restliche Zeit wieder auf H. Nur deshalb funktionieren alle 555-Typen, da Pin 2 nicht dauerhaft auf GND geschaltet ist.

Tastgrad

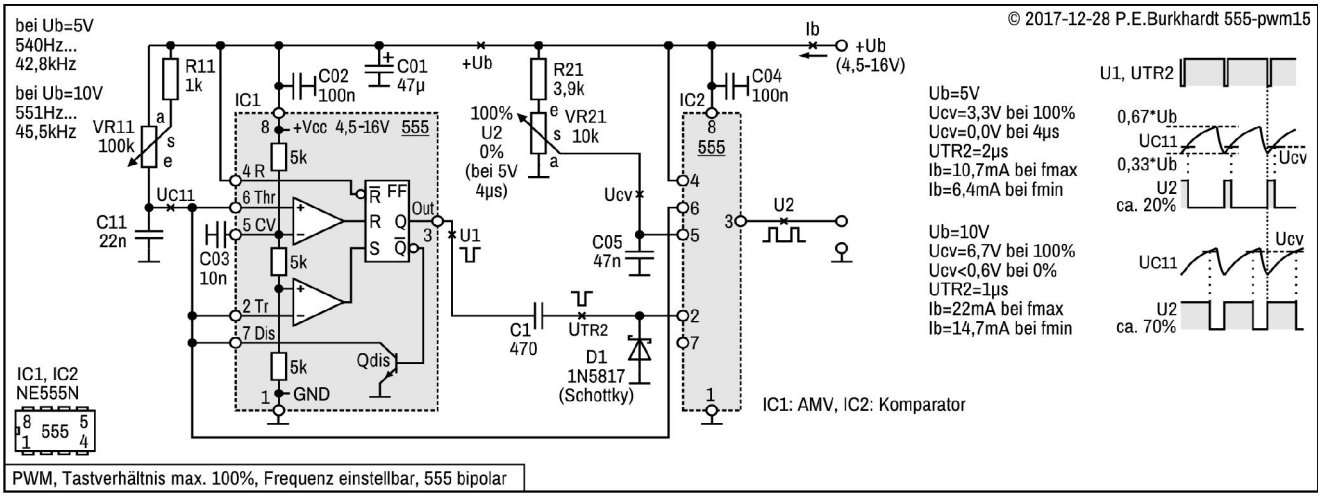
Spannungsteiler R21-VR21 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Dabei ist der untere Schwellwert im Normalfall 1/3 von Ub, mit kleinem Kondensator C11 auch weniger.

Wird Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < U_{C11} liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R21-VR2 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %).

Sowohl der 0%-Anschlag als auch der 100%-Anschlag des Potis VR2 hat einen geringen toten Bereich, der aber der Einfachheit halber bewusst in Kauf genommen wurde. Es sind so auch hohe AMV-Frequenzen ohne Abgleich möglich.

Bei nur 5 V Betriebsspannung ergab sich allerdings ein Restimpuls von 4 µs, d.h. es wird nicht ganz die Einschaltdauer von 0 % erreicht. Widerstand R21 müsste etwas verkleinert werden. Damit steigt aber bei höherer Ub der tote Bereich des Potis VR21.



(Bild-Wiederholung)

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, prinzipiell gelten deshalb auch die Standardgleichungen für den 555-AMV.

Die Frequenz ist trotz des Schutzwiderstands R11 mit dem Poti VR11 im Verhältnis 1:100 einstellbar, da ein etwas ungewöhnlicher Poti-Anschluss erfolgt. Prinzipbedingt ist die 555-AMV-Frequenz unabhängig von der Betriebsspannung Ub.

Allerdings wird bei höheren Frequenzen die untere AMV-Schaltschwelle (1/3 von Ub) wegen der sehr kurzen C11-Entladung (kurze AMV-L-Zeit) unterschritten. Um die L-Zeit kurz zu halten, wurde auf einen Schutzwiderstand (Entladewiderstand für C11) am Pin 7 des AMV-555 verzichtet. Der 555 begrenzt intern den möglichen Strom durch den Entladetransistor, so dass die Gefahr der Überlastung nicht besteht. Durch die großzügige Dimensionierung des Ucv-Spannungsteilers sind auch für diesen Fall keine Widerstandsänderungen erforderlich. Der tote Einstellbereich von VR21 in 0%-Nähe verringert sich entsprechend.

Trigger-Schaltung

Der kurze L-Impuls U1 während der C11-Entladung wird nahezu formgetreu über C1 an den Triggereingang Pin 2 des 555-Komparators weitergegeben. Allerdings entsteht eine negative Spitze, die aber wirkungsvoll durch die Schottky-Diode D1 abgeschnitten wird. Ohne D1 oder mit einer normalen Diode passiert zwar auch nichts, da die Impulsenergie durch den kleinen Wert von C1 sehr gering ist und vom 555 geschluckt wird, aber zur Vorsicht sollte die Diode vorgesehen werden.

Der Triggerimpuls setzt das 555-FF des Komparators, d.h. der 555-Ausgang U2 wird H.

Fazit

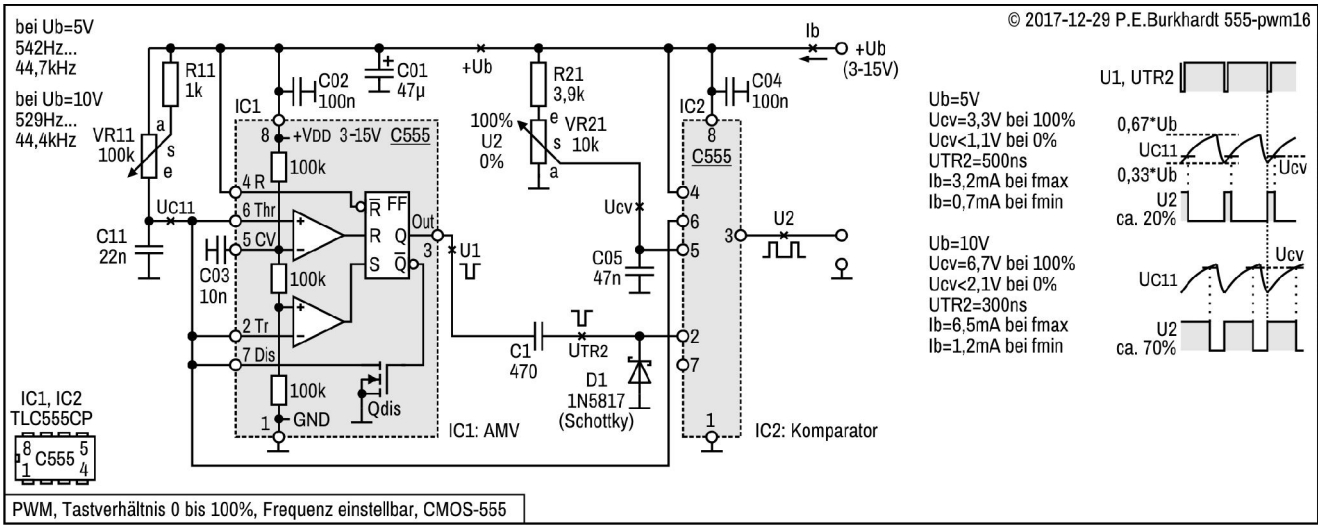
Insgesamt kommt diese PWM-Schaltung mit relativ wenig Bauelementen aus, da u.a. die Triggerschaltung sehr einfach gehalten ist. Sie ist im gesamten Ub-Bereich des 555 verwendbar. Andere Frequenzbereiche sind auch kein Problem, C11 müsste dann entsprechend geändert werden. Wesentlich höhere Frequenzen sind mit CMOS-555 möglich. Auch die Umschaltung an der unteren 555-Schwelle erfolgt dann präziser.

PWM, C555-AMV + C555-Komp. (getriggert über C)

In der folgenden PWM-Schaltung werden für AMV und Komparator CMOS-555 eingesetzt, bei denen höhere Frequenzen möglich sind. Außerdem sind die 555-Umschaltschwellen genauer. Die Triggerung des Komparators erfolgt über einen kleinen Kondensator.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar von 550 Hz bis über 40 kHz
- CMOS-555 als AMV und Komparator mit C-Triggerung



Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der 555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je größer Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des 555-Ausgangs U2 auf L erfolgt mit Ende der AMV-H-Zeit. Dazu wird der Komparator-555 (IC2) mit der fallenden Flanke des AMV-H-Impulses am Komparator-Trigger-Eingang Pin 2 getriggert. Nach dem kurzen AMV-L-Impuls liegt der Trigger-Eingang für die restliche Zeit wieder auf H. Nur deshalb funktionieren alle 555-Typen, da Pin 2 nicht dauerhaft auf GND geschaltet ist.

Tastgrad

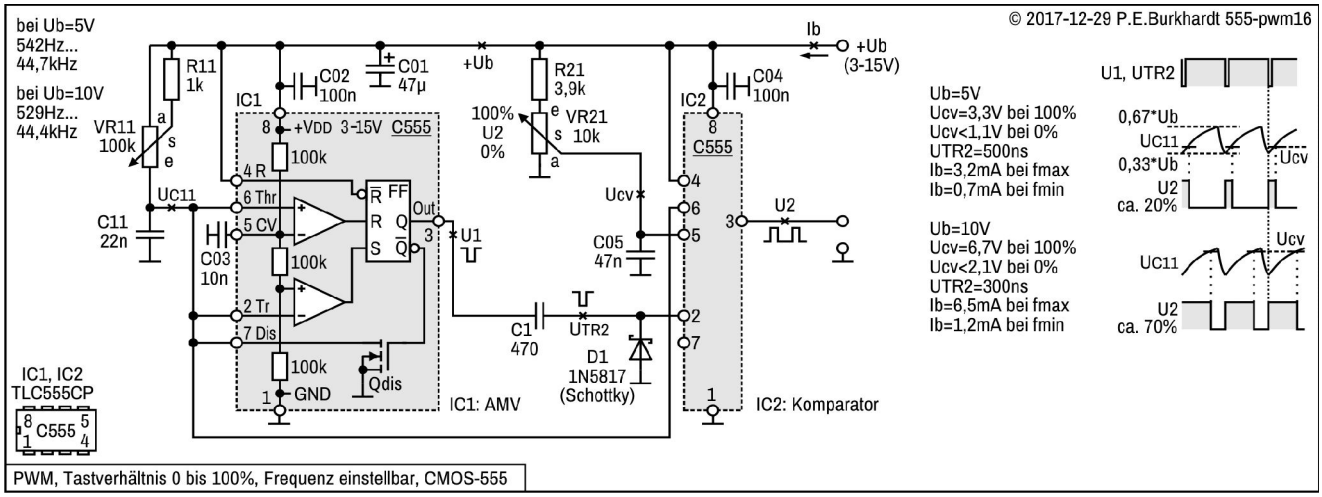
Spannungsteiler R21-VR21 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Dabei ist der untere Schwellwert im Normalfall 1/3 von Ub, mit kleinem Kondensator C11 auch weniger.

Wird Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < U_{C11} liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R21-VR2 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %).

Sowohl der 0%-Anschlag als auch der 100%-Anschlag des Potis VR2 hat einen geringen toten Bereich, der aber der Einfachheit halber bewusst in Kauf genommen wurde. Es sind so auch hohe AMV-Frequenzen ohne Abgleich möglich.

Die Schaltung funktioniert sicher ab 3 V. Dabei kann mit Poti VR21 die Einschaltdauer von 0 bis 100 % verändert werden. Der tote Bereich an den Einstellgrenzen verändert sich im gesamten Bereich der möglichen Betriebsspannung nur geringfügig.



(Bild-Wiederholung)

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, prinzipiell gelten deshalb auch die Standardgleichungen für den 555-AMV.

Die Frequenz ist trotz des Schutzwiderstands R11 mit dem Poti VR11 im Verhältnis 1:100 einstellbar, da ein etwas ungewöhnlicher Poti-Anschluss erfolgt. Prinzipbedingt ist die 555-AMV-Frequenz unabhängig von der Betriebsspannung Ub.

Allerdings wird bei höheren Frequenzen die untere AMV-Schaltschwelle (1/3 von Ub) wegen der sehr kurzen C11-Entladung (kurze AMV-L-Zeit) unterschritten. Um die L-Zeit kurz zu halten, wurde auf einen Schutzwiderstand (Entladewiderstand für C11) am Pin 7 des AMV-555 verzichtet. Der 555 begrenzt intern den möglichen Strom durch den Entladetransistor, so dass die Gefahr der Überlastung nicht besteht. Durch die großzügige Dimensionierung des Ucv-Spannungsteilers sind auch für diesen Fall keine Widerstandsänderungen erforderlich. Der tote Einstellbereich von VR21 in 0%-Nähe verringert sich entsprechend.

Trigger-Schaltung

Der kurze L-Impuls U1 während der C11-Entladung wird nahezu formgetreu über C1 an den Triggereingang Pin 2 des 555-Komparators weitergegeben. Allerdings entsteht eine negative Spitze, die aber wirkungsvoll durch die Schottky-Diode D1 abgeschnitten wird. Ohne D1 oder mit einer normalen Diode passiert zwar auch nichts, da die Impulsenergie durch den kleinen Wert von C1 sehr gering ist und vom 555 geschluckt wird, aber zur Vorsicht sollte die Diode vorgesehen werden.

Der Triggerimpuls setzt das 555-FF des Komparators, d.h. der 555-Ausgang U2 wird H.

Fazit

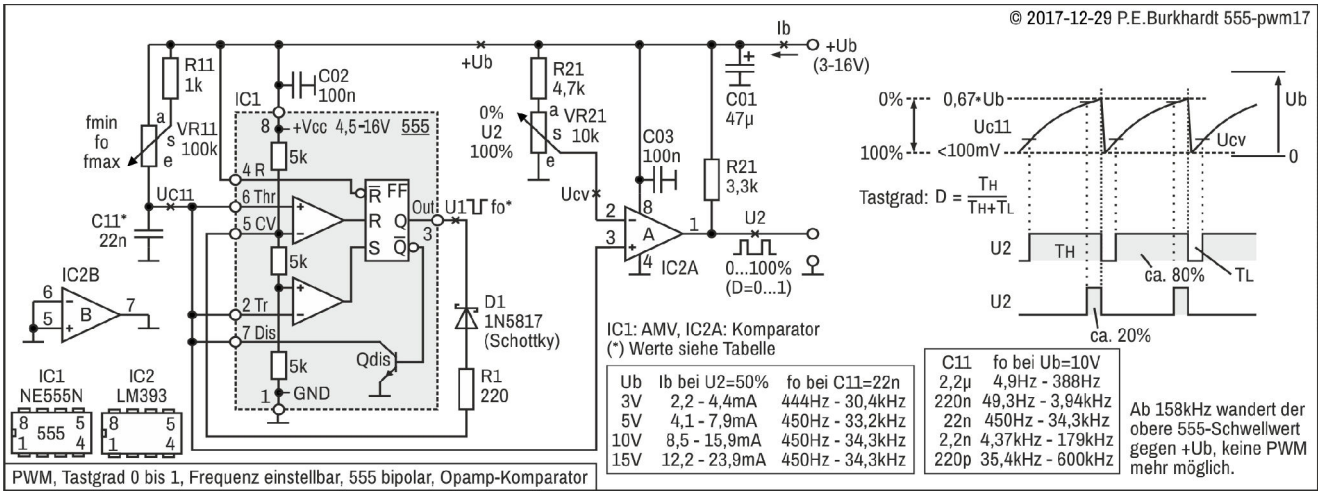
Insgesamt kommt diese PWM-Schaltung mit relativ wenig Bauelementen aus, da u.a. die Triggerschaltung sehr einfach gehalten ist. Sie ist im gesamten Ub-Bereich des CMOS-555 verwendbar. Andere Frequenzbereiche sind auch kein Problem, C11 müsste dann entsprechend geändert werden. Der Einsatz von CMOS-555 spart Betriebsstrom und bringt Vorteile insbesondere bei höheren Frequenzen.

PWM, AMV + Opamp-Komp. (LM393)

In einer PWM-Schaltung mit AMV und Komparator sind die Präzision und die Geschwindigkeit des Vergleichs zwischen Tastgrad-Sollwert (Referenzspannung) und Istwert der Spannung über dem frequenzbestimmenden Kondensator des AMVs besonders wichtig. Wird für den Komparator ein speziell dafür entwickelter Opamp eingesetzt, ergeben sich Vorteile gegenüber einem 555-Komparator. Außerdem vereinfacht sich die PWM-Schaltung, da keine Triggerung erforderlich ist.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar im Verhältnis 1 zu 100, mit Bereichsumschaltung 5 Hz bis ca. 150 kHz
- Bipolarer 555 als AMV und Opamp LM393 als Komparator
- 555-Schwellwerte von GND bis 2/3 Ub mit spezieller Schaltung



Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der Opamp-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des 555-AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der 555-AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je kleiner Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des Opamp-Komparator-Ausgangs U2 auf L erfolgt mit Ende der AMV-H-Zeit. Die fallende Flanke der C11-Spannung des 555-AMV am nichtinvertierenden Opamp-Komparator-Eingang Pin 3 bewirkt, dass der U2-Ausgang ebenfalls auf Null (GND) fällt.

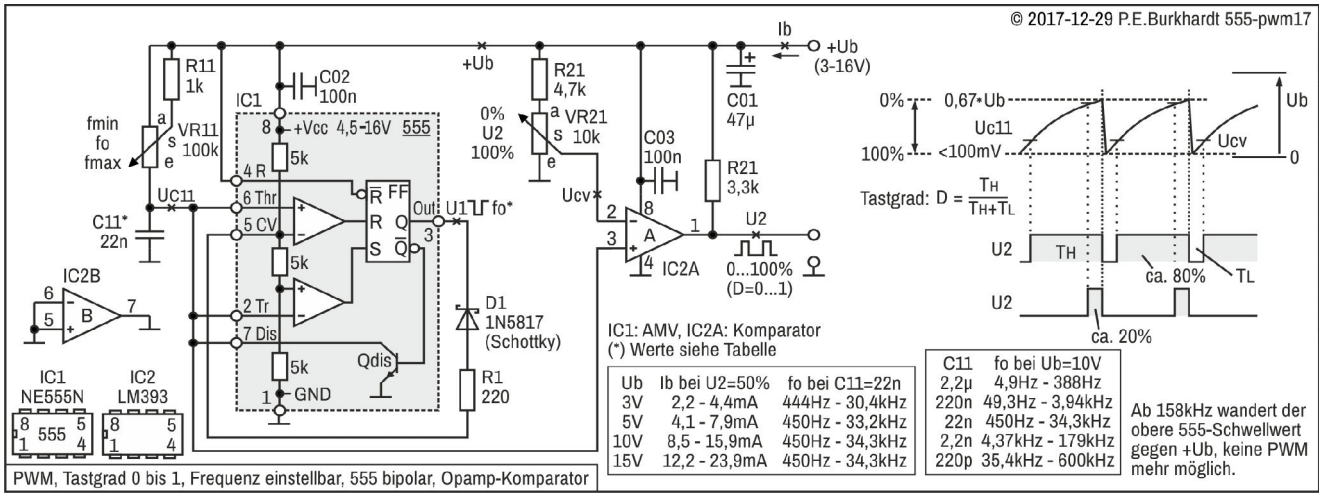
Tastgrad

Spannungsteiler R21-VR21 liefert am invertierende Eingang Pin 2 des Opamp-Komparators eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Aufgrund der invertierenden Wirkung des angesteuerten Opamp-Eingangs Pin 2 sind die Poti-Anschlüsse gegenüber einem 555-Komparator vertauscht. Die höchste Spannung am Pin 2 bewirkt den Tastgrad 0, die niedrigste Spannung (Null bzw. GND) bewirkt den Tastgrad 1, d.h. eine Einschaltdauer von 100 %.

Wird Ucv zwischen 2/3 von Ub nach GND verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). Mit Ucv = Null (GND) liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). R21-VR2 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %).

Durch die Verschiebung des unteren 555-Schwellwerts von 1/3 von Ub auf Null (GND) werden vom 555 verursachte frequenz- und kondensatorabhängige Differenzen des unteren Schwellwerts eliminiert. Die Tastgrad-Einstellung mit Poti VR21 ist jetzt über einen großen Frequenzbereich (auch bei C11-Bereichsumschaltung) stabil und garantiert immer den Tastgrad-Bereich von 0 bis 1.



(Bild-Wiederholung)

Verschiebung des unteren 555-Schwellwertes

Leider hat jeder 555 die unangenehme Eigenschaft, seine Schwellwerte in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Frequenz zu verändern. Ist die Entladezeit des frequenz- bzw. zeitbestimmenden Kondensators sehr kurz, schießt der untere Schwellwert übers Ziel hinaus und verschiebt sich von 1/3 von Ub in Richtung GND. Wie kurz die Entladezeit ist, wird vom 555-internen Entladetransistor, den im Entladeweg liegenden Widerständen und von der Kapazität des Kondensators bestimmt.

Diese Ungenauigkeit ist auf die internen Verzögerungszeiten des 555 zurückzuführnen.

Es ist möglich, die untere 555-Schwelle auf GND zu verschieben, um somit einen Teil der 555-Unzulänglichkeiten zu eliminieren. Dazu wird der 555-CV-Eingang nach GND gezogen, damit die untere Schwelle unabhängig von der benötigten Entladezeit des Kondensators C11 möglichst auf GND liegt. Für kleinere C ab etwa 10 nF und weniger liegt durch die direkte C-Entladung (kein Vorwiderstand) die untere Schwelle sowieso auf GND. Grund dafür ist die sehr kurze Entladezeit im Gegensatz zur Reaktionszeit des 555-internen FFs.

Bei größerem C ist die Entladezeit länger und das FF schaltet um, bevor GND erreicht ist. Deshalb ist der CV-Eingang über R1 und die Schottky-Diode D1 mit dem 555-Ausgang Pin 3 verbunden. Während der U1-L-Zeit wird D1 leitend und legt CV über R1 auf L. Dadurch sinkt die untere Schwelle auf nahezu GND. Das gelänge natürlich nur perfekt, wenn es keine Fluss-Spannung von D1 und keine L-Restspannung am 555-Ausgang gäbe.

R1 ist ein Kompromiss. Je kleiner (aber nicht Null!) R1 ist, desto näher liegt die Schwelle an GND. Allerdings darf R1 nicht Null werden, sonst funktioniert die Schwellwertverschiebung nicht. Je größer R1 ist, desto weiter entfernt sich die Schwelle von GND, was aber nicht erwünscht ist. Praktisch liegt der untere 555-Schwellwert bei etwa 200 mV.

Die Schottky-Diode könnte auch durch eine normale Diode 1N4148 ersetzt werden. Vorteilhaft sind die niedrige Fluss-Spannung der Schottky-Diode und ihre vergleichsweise geringen Schaltzeiten.

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, prinzipiell gelten deshalb auch die Standardgleichungen für den 555-AMV.

Die Frequenz ist trotz des Schutzwiderstands R11 mit dem Poti VR11 im Verhältnis 1:100 einstellbar, da ein etwas ungewöhnlicher Poti-Anschluss erfolgt. Prinzipbedingt ist die 555-AMV-Frequenz unabhängig von der Betriebsspannung Ub.

Wegen der Verschiebung des unteren 555-Schwellwertes auf nahezu GND konnte nur mit Änderung des Kondensators C11 in 5 Frequenzbereichen der gesamte in Frage kommende Frequenzbereich von 5 Hz bis rund 500 kHz abgedeckt werden. Für PWM, das Ziel der Schaltung, ist die AMV-Frequenz bis etwa 150 kHz nutzbar. Darüber hinaus ist die obere 555-Schaltschwelle 2/3 von Ub nicht mehr stabil und wandert mit zunehmender Frequenz in Richtung Ub. Da diese obere Schwelle nicht so leicht zu beeinflussen ist wie die untere 555-Schwelle, muss man sich mit dieser oberen Frequenz-Begrenzung zufrieden geben.

Fazit

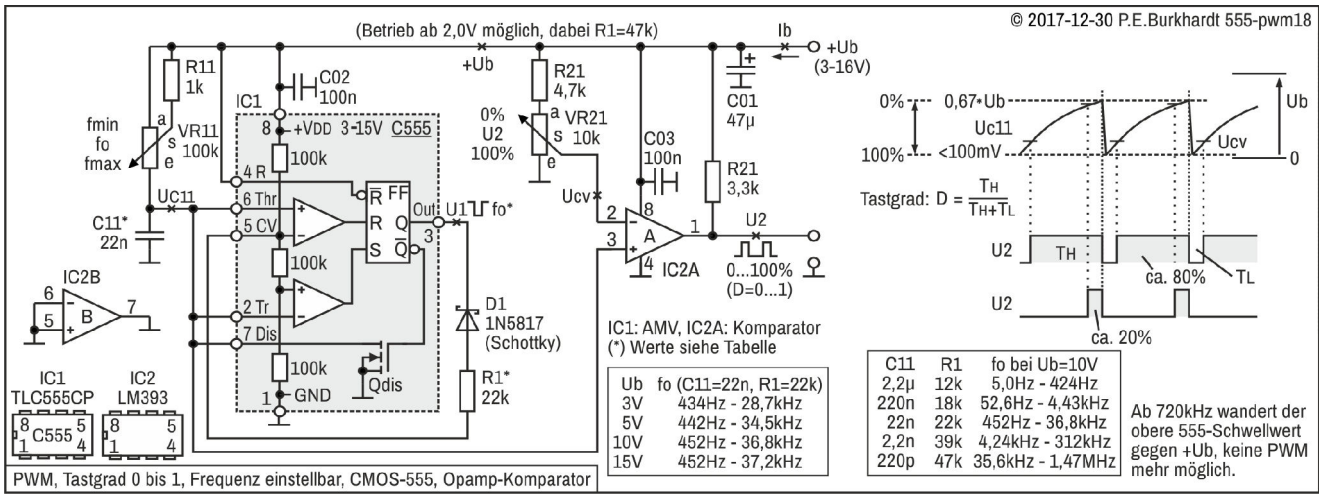
Diese PWM-Schaltung hat trotz des großen umschaltbaren Freuqenzbereichs von bis zu 150 kHz stabile Schaltschwellen und kann somit ohne zusätzliche Schaltungsanpassungen im gesamten Ub-Bereich 3 bis 15 V eingesetzt werden.

PWM, C555-AMV + Opamp-Komp. (LM393)

In einer PWM-Schaltung mit AMV und Komparator sind die Präzision und die Geschwindigkeit des Vergleichs zwischen Tastgrad-Sollwert (Referenzspannung) und Istwert der Spannung über dem frequenzbestimmenden Kondensator des AMVs besonders wichtig. Wird für den Komparator ein speziell dafür entwickelter Opamp eingesetzt, ergeben sich Vorteile gegenüber einem 555-Komparator. Außerdem vereinfacht sich die PWM-Schaltung, da keine Triggerung erforderlich ist. Die Verwendung eines CMOS-555 für den AMV anstelle eines bipolaren 555 bringt weitere Vorteile bezüglich Stabilität und Stromverbrauch.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar im Verhältnis 1 zu 100, mit Bereichsumschaltung 5 Hz bis ca. 700 kHz
- CMOS-555 als AMV und Opamp LM393 als Komparator
- 555-Schwellwerte von GND bis 2/3 Ub mit spezieller Schaltung



Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der Opamp-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des 555-AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der 555-AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je kleiner Ucv ist, desto länger bleibt der 555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des Opamp-Komparator-Ausgangs U2 auf L erfolgt mit Ende der AMV-H-Zeit. Die fallende Flanke der C11-Spannung des 555-AMV am nichtinvertierenden Opamp-Komparator-Eingang Pin 3 bewirkt, dass der U2-Ausgang ebenfalls auf Null (GND) fällt.

Tastgrad

Spannungsteiler R21-VR21 liefert am invertierende Eingang Pin 2 des Opamp-Komparators eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Aufgrund der invertierenden Wirkung des angesteuerten Opamp-Eingangs Pin 2 sind die Poti-Anschlüsse gegenüber einem 555-Komparator vertauscht. Die höchste Spannung am Pin 2 bewirkt den Tastgrad 0, die niedrigste Spannung (Null bzw. GND) bewirkt den Tastgrad 1, d.h. eine Einschaltdauer von 100 %.

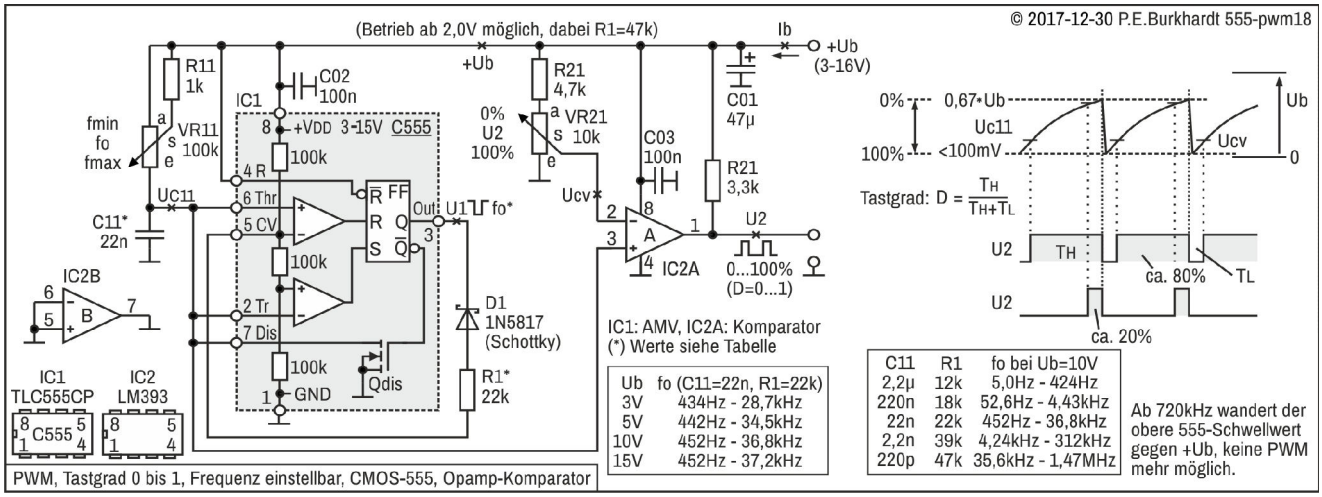
Wird Ucv zwischen 2/3 von Ub nach GND verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Lade-/Entladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). Mit Ucv = Null (GND) liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). R21-VR2 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR2 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %).

Durch die Verschiebung des unteren 555-Schwellwerts von 1/3 von Ub auf Null (GND) werden vom 555 verursachte frequenz- und kondensatorabhängige Differenzen des unteren Schwellwerts eliminiert. Die Tastgrad-Einstellung mit Poti VR21 ist jetzt über einen großen Frequenzbereich (auch bei C11-Bereichsumschaltung) stabil und garantiert immer den Tastgrad-Bereich von 0 bis 1.

Verschiebung des unteren 555-Schwellwertes

Leider hat jeder 555 die unangenehme Eigenschaft, seine Schwellwerte in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Frequenz zu verändern. Ist die Entladezeit des frequenz- bzw. zeitbestimmenden Kondensators sehr kurz, schießt der untere Schwellwert übers Ziel hinaus und verschiebt sich von 1/3 von Ub in Richtung GND. Wie kurz die Entladezeit ist, wird vom 555-internen Entladetransistor, den im Entladeweg liegenden Widerständen und von der Kapazität des Kondensators bestimmt.



(Bild-Wiederholung)

Diese Ungenauigkeit ist auf die internen Verzögerungszeiten des 555 zurückzuführnen. Bei 555-Timern in CMOS-Technik ist dieser unangenehme Effekt nicht so ausgeprägt im Vergleich zum bipolaren 555, da der CMOS-555 sowieso höhere Frequenzen verarbeiten kann.

Es ist möglich, die untere 555-Schwelle auf GND zu verschieben, um somit einen Teil der 555-Unzulänglichkeiten zu eliminieren. Dazu wird der 555-CV-Eingang nach GND gezogen, damit die untere Schwelle unabhängig von der benötigten Entladezeit des Kondensators C11 möglichst auf GND liegt. Für kleinere C ab etwa 10 nF und weniger liegt durch die direkte C-Entladung (kein Vorwiderstand) die untere Schwelle sowieso auf GND. Grund dafür ist die sehr kurze Entladezeit im Gegensatz zur Reaktionszeit des 555-internen FFs.

Bei größerem C ist die Entladezeit länger und das FF schaltet um, bevor GND erreicht ist. Deshalb ist der CV-Eingang über R1 und die Schottky-Diode D1 mit dem 555-Ausgang Pin 3 verbunden. Während der U1-L-Zeit wird D1 leitend und legt CV über R1 auf L. Dadurch sinkt die untere Schwelle auf nahezu GND. Das gelänge natürlich nur perfekt, wenn es keine Fluss-Spannung von D1 und keine L-Restspannung am 555-Ausgang gäbe.

R1 ist ein Kompromiss. Je kleiner (aber nicht Null!) R1 ist, desto näher liegt die Schwelle an GND. Allerdings darf R1 nicht Null werden, sonst funktioniert die Schwellwertverschiebung nicht. Je größer R1 ist, desto weiter entfernt sich die Schwelle von GND, was aber nicht erwünscht ist. Praktisch liegt der untere 555-Schwellwert bei etwa 200 mV.

Widerstand R1 hat beim CMOS-AMV grundsätzlich höhere Werte als beim bipolaren 555. Es hat sich gezeigt, dass bei Frequenz-Bereichsumschaltung für optimale Ergebnisse der Widerstand zusammen mit C11 umgeschaltet werden sollte. Wird dies nicht gewünscht, sind 39 kΩ für alle Bereiche ein günstiger Kompromiss.

Die Schottky-Diode könnte auch durch eine normale Diode 1N4148 ersetzt werden. Vorteilhaft sind die niedrige Fluss-Spannung der Schottky-Diode und ihre vergleichsweise geringen Schaltzeiten.

Frequenz

Der AMV mit IC1 ist in 555-Standardschaltung ausgeführt, prinzipiell gelten deshalb auch die Standardgleichungen für den 555-AMV.

Die Frequenz ist trotz des Schutzwiderstands R11 mit dem Poti VR11 im Verhältnis 1:100 einstellbar, da ein etwas ungewöhnlicher Poti-Anschluss erfolgt. Prinzipbedingt ist die 555-AMV-Frequenz unabhängig von der Betriebsspannung Ub.

Wegen der Verschiebung des unteren 555-Schwellwertes auf nahezu GND konnte in 5 Frequenzbereichen der gesamte in Frage kommende Frequenzbereich von 5 Hz bis rund 1,4 MHz abgedeckt werden. Für PWM, das Ziel der Schaltung, ist die AMV-Frequenz bis etwa 700 kHz nutzbar. Darüber hinaus ist die obere 555-Schaltschwelle 2/3 von Ub nicht mehr stabil und wandert mit zunehmender Frequenz in Richtung Ub. Da diese obere Schwelle nicht so leicht zu beeinflussen ist wie die untere 555-Schwelle, muss man sich mit dieser oberen Frequenz-Begrenzung zufrieden geben.

Fazit

Diese PWM-Schaltung hat trotz des großen umschaltbaren Freuqenzbereichs stabile Schaltschwellen und kann somit ohne zusätzliche Schaltungsanpassungen im gesamten Ub-Bereich 3 bis 15 V eingesetzt werden. Die Verwendung des CMOS-555 erlaubt die PWM-Anwendung bis ca. 700 kHz. Funktionsfähig ist die Schaltung auch noch bei nur 2 V Betriebsspannung.

PWM, AMV + C555-Komp., 1A-Endstufe

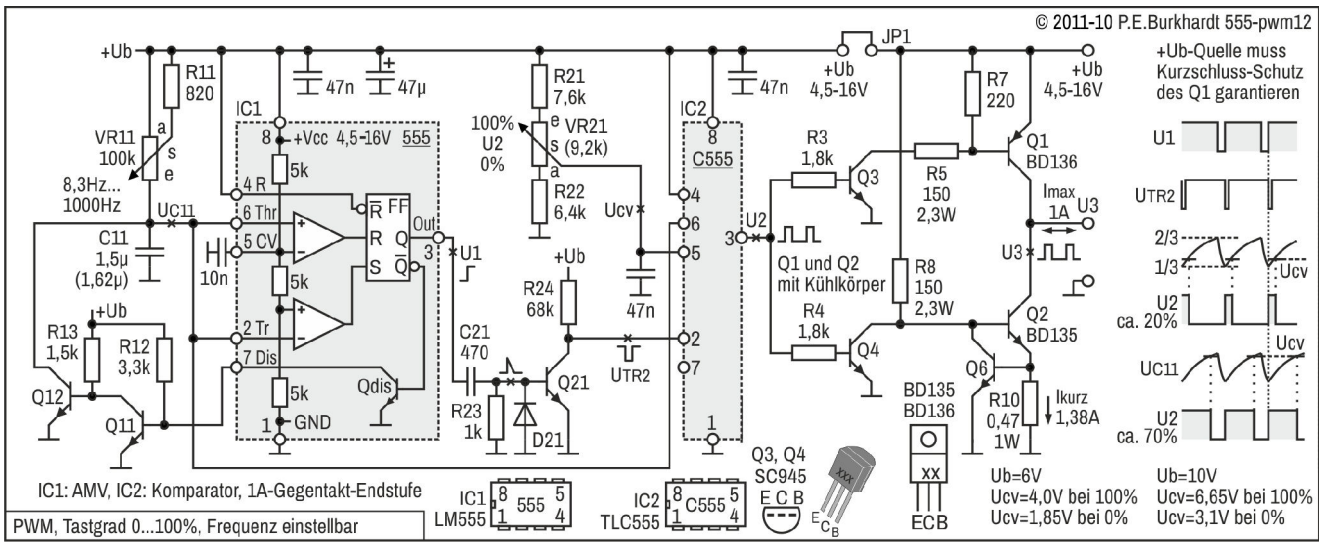
Anwendung

Diese PWM-Schaltung bis 1 kHz arbeitet mit einem CMOS-555 als Komparator. Dadurch ist besonders an den Tastgrad-Bereichsenden (nahe 0 % und nahe 100 %) die sichere und durchgehend kontinuierliche Einstellung möglich.

Die separate Gegentakt-Leistungsendstufe kann Verbraucher bis 1 A Stromaufnahme (bzw. Stromabgabe) versorgen. Auch ist die Schaltung als Testgenerator nutzbar, um z.B. Einschaltvorgänge mit dem Oszilloskop darstellen zu können.

Eigenschaften

- Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %
- Frequenz einstellbar (nominal 10 Hz bis 1 kHz)
- 555-AMV mit externer C-Entladeschaltung
- C555 als Komparator mit Triggerung
- 1A-Leistungsendstufe (Gegentakt-Ausgang, rail-to-rail)
- +Ub und Endstufe 4,5 bis 16 V



PWM mit C555-Komparator, Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %, 1A-Ausgang

Schaltungsbeschreibung

Schaltungsprinzip

Der C555-Komparator (IC2) vergleicht die Kondensatorspannung U_{C11} des 555-AMV (IC1) mit der einstellbaren Kontrollspannung Ucv. Der AMV arbeitet mit einer langen H-Zeit (einstellbar zur Frequenzänderung) und einer kurzen L-Zeit. Je größer Ucv ist, desto länger bleibt der C555-Ausgang U2 auf H.

Die Umschaltung des C555-Ausgangs U2 auf H erfolgt mit Beginn der AMV-H-Zeit (U1). Dazu wird der Komparator-C555 (IC2) mit der steigenden Flanke des AMV-H-Impulses (U1) getriggert. Nach dem kurzen U_{TR2}-L-Impuls liegt der Trigger-Eingang für die restliche Zeit wieder auf H.

Tastgrad

Spannungsteiler R21-VR21-R22 liefert am CV-Eingang Pin 5 eine Vergleichsspannung Ucv zwischen GND und 2/3 von Ub. Das ist der Spannungsbereich, den der AMV (IC1) als U_{C11} liefert. Dabei beträgt der untere Schwellwert 1/3 von Ub.

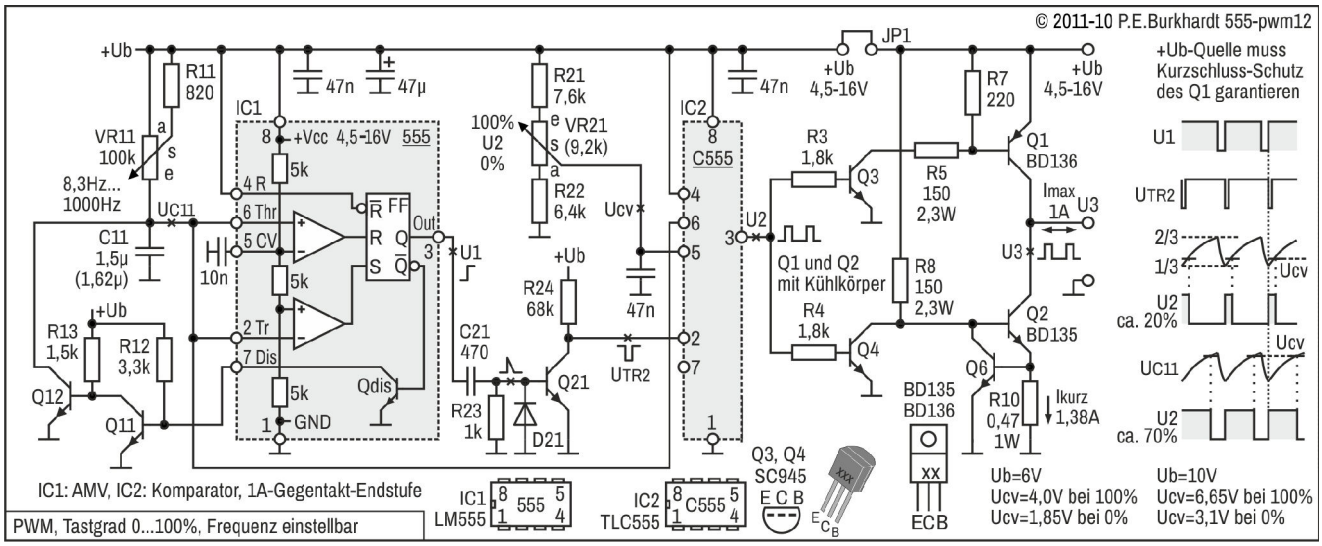
Wird Ucv zwischen 1/3 und 2/3 von Ub verändert, ergibt sich eine entsprechende Impulslänge an U2 zwischen 0 und 100 % eines Ladevorganges am Kondensator C11.

Mit Ucv > 2/3 von Ub liegt U2 permanent auf H (100 %, ständige volle Aussteuerung). Mit Ucv < U_{C11} liegt U2 permanent auf L (0 %, Aussteuerung = Null). R21-VR21-R22 wurden so gewählt, dass der Einstellbereich des Potis VR21 dem Bereich der möglichen U_{C11}-Spannung entspricht (0 bis 100 %). Das Bild enthält die gemessenen Ucv-Werte für +6 V und für +10 V.

Sowohl der 0%-Anschlag als auch der 100%-Anschlag des Potis VR21 hat einen geringen toten Bereich, damit keine U3-Spannung (0 % bzw. U3 = L), aber auch die volle U3-Spannung (100 % bzw. U3 = H) mit Sicherheit einstellbar ist. Es ergaben sich die im Bild angegebenen Widerstandswerte für R21-VR21-R22.

Frequenz und Entlade-Schaltung

Der AMV mit IC1 ist abweichend von der 555-Standardschaltung mit einer externen Entlade-Schaltung für den zeitbestimmenden Kondensator C11 ausgestattet. Außerdem fehlt der sonst übliche Entlade-Widerstand.



PWM mit C555-Komparator, Einschaltdauer einstellbar 0 bis 100 %, 1A-Ausgang

Transistor Q12 entlädt C11 schneller als der interne Qdis, so dass eine sehr kurze U1-L-Zeit möglich ist (ca. 20 µs). Der U1-Sägezahn hat also eine kurze Rückflanke. Damit wird der Tastgrad-Einstellbereich wenig eingeschränkt.

> Allerdings sollte diese Entladeschaltung nur bei C11 ab 1 µF angewendet werden. Ist C11 kleiner, wird durch die dann weiter sinkende Entladezeit die untere 555-Schwelle (1/3 Ub) unterschritten. Das aber hat negative Auswirkungen auf die Frequenzkonstanz bei Ub-Änderungen. Außerdem ändert sich dann der mit VR21 einstellbare Tastgrad-Einstellbereich.

Die Frequenz ist trotz des Schutzwiderstands R11 mit dem Poti VR11 im Verhältnis 1:100 einstellbar, da ein etwas ungewöhnlicher Poti-Anschluss erfolgt. Prinzipbedingt ist die 555-AMV-Frequenz unabhängig von der Betriebsspannung Ub.

Trigger-Schaltung

Jede steigende U1-Flanke bewirkt wegen der Differenzierung mit C21-R23 das kurze Durchsteuern des Transistors Q21. Am Q21-Kollektor ergibt sich ein Triggerimpuls (U_{TR2}), der das C555-FF des Komparators setzt, d. h. der C555-Ausgang U2 wird H. Der negative Nadelimpuls bei fallender U1-Flanke wird mit Diode D21 begrenzt.

Das Differenzierglied und R24 sind so bemessen, dass der Triggerimpuls möglichst kurz, aber auch lang genug zum sicheren Triggern für IC2 ist. Der Triggerimpuls ist ein sauberer L-Impuls von +Ub bis GND am Anfang der AMV-H-Zeit.

Gegentakt-Endstufe

Die C555-Ausgangsimpulse U2 steuern über die Transistoren Q3, Q4 den Gegentakt-Schalter Q1, Q2. Q1 schaltet +Ub an den U3-Ausgang, wenn U2 H-Pegel führt. U3 ist dann also auch H. Q2 ist gesperrt.

Q2 schaltet den U3-Ausgang auf GND, wenn U2 L-Pegel führt. U3 ist dann also auch L. Q1 ist gesperrt.

Demzufolge kann der U3-Ausgang bei H Strom liefern (Last von U3-Ausgang nach GND) oder auch bei L Strom aufnehmen (Last von +Ub nach U3-Ausgang).

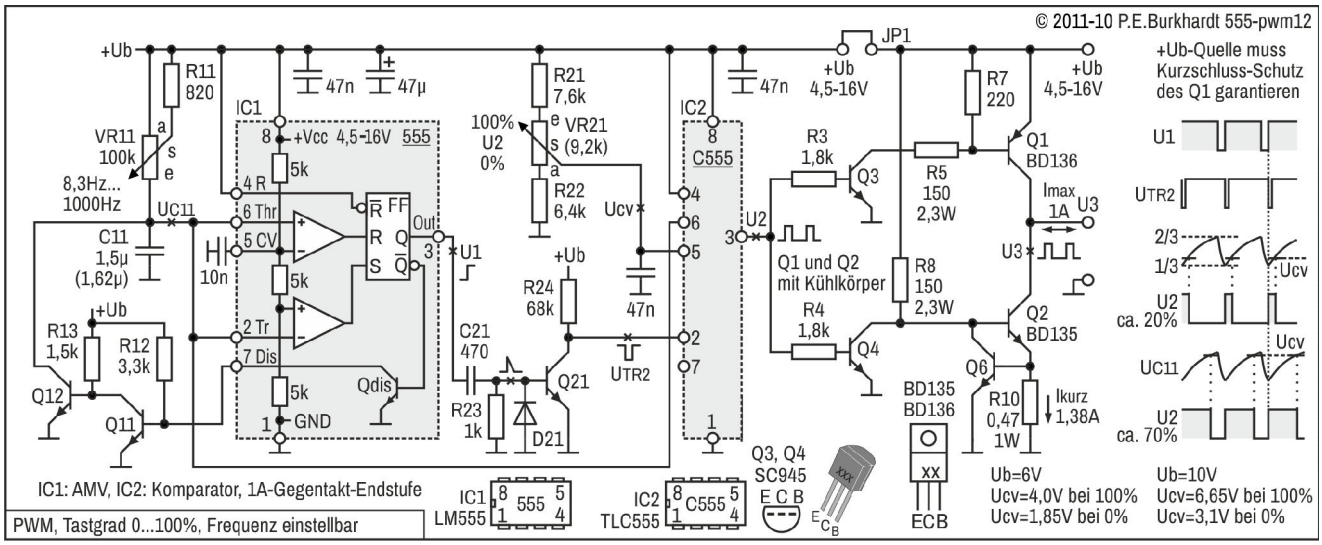
Ansteuerung der Endstufe

Mit U2-H-Pegel steuert Q3 durch und liefert so den Basisstrom für den pnp-Transistor Q1, Q1 öffnet und schaltet +Ub an den U3-Ausgang. Gleichzeitig steuert auch Q4 durch und legt die Q2-Basis auf GND, Q2 sperrt.

Mit U2-L-Pegel sperrt Q3, Q1 erhält keinen Basisstrom mehr, Q1 sperrt. Der Widerstand R7 sorgt dafür, dass die Q1-Basis definiertes Potential erhält.

Mit U2-L-Pegel sperrt auch Q4. Jetzt erhält Q2 über R8 Basisstrom, Q2 öffnet und schaltet U3 auf GND.

Anmerkung:
Die Sättigungsspannung U_{CE} der Endstufen-Transistoren Q1 und Q2 sollte niedrig sein, damit +Ub und GND möglichst unverfälscht am U3-Ausgang zur Verfügung stehen (abhängig vom Strom). Bei geringem Strom ergibt sich nahezu +Ub/GND-Potential. Neben der höheren Strombelastbarkeit ist diese Rail-to-Rail-Eigenschaft ein weiterer Vorteil dieser Endstufe gegenüber der normalen 555-internen Endstufe. Der C555 hat zwar nahezu Rail-to-Rail-Aussteuerung, liefert aber besonders bei H wenig Strom (max. 10 mA).



(Bild-Wiederholung)

Strombegrenzung
Transistor Q6 schaltet die Q2-Basis nach GND, sobald die Spannung über R10 größer als ca. 0,65 V wird. R10 bestimmt, bei welchem Strom dieser Spannungsabfall erreicht wird. Bei Kurzschluss ergaben sich 1,38 A.

Die Strombegrenzung schützt Q2 bei U3-Last gegen +Ub. Transistor Q1 ist auf eine Strombegrenzung der +Ub-Quelle angewiesen.

Stromversorgung
AMV/Komparator und Endstufe können gemeinsam (JP1 eingelegt) oder auch getrennt mit Strom versorgt werden. Vorteilhaft ist die getrennte Versorgung für die Frequenz- und Tastgrad-Stabilität, wenn die Endstufe mit hoher Last gefahren wird. Treten Last- und damit Ub-Schwankungen der Endstufe auf, bleiben die 555-Schaltungsteile bei getrennter Versorgung unberührt.

Die Schaltung funktioniert aber bei guter Stabilität im gesamten Ub-Bereich des 555 bzw. C555.

Fazit
Besonders der Einsatz des C555 als Komparator liefert bessere Gesamt-Eigenschaften der PWM im Gegensatz zu Schaltungen mit zwei bipolaren 555.

Die 1A-Gegentakt-Endstufe erweitert die Einsatzmöglichkeiten der Schaltung.