

Beschreibung der AVC/ Nahtverfolgung für WIG-Schweißen

B. Jaeschke, Auenwald, Deutschland, 10.10.2014

Die Verwendung des WIG-Lichtbogens als Sensor zur Gewinnung von Abstandsinformationen ist allgemeiner Stand der Technik. Im einfachsten Fall wird nur die Lichtbogenspannung gemessen und eine Lageregelung versucht, die Brennerhöhe über dem Schmelzbad konstant zu halten, indem Abweichungen der Lichtbogenspannung gegenüber einem Referenzwert durch mechanische Höhenverstellung ausgeregelt werden. Daher auch die Abkürzung AVC = Automatic Voltage Control.

Tatsächlich ist dieses Verfahren nur bedingt geeignet, denn Änderungen des Schweißstromes verändern auch die Lichtbogenspannung und beeinflussen damit unerwünscht die mechanische Höhenregelung.

Das von Lorch aufbereitete Signal zur Nahtverfolgung für das WIG-Schweißen kann den unerwünschten Stromeinfluss größtenteils kompensieren. Diese Fachdokumentation soll hierzu Hintergrundwissen liefern.

Technische Fakten

AVC = Automated Voltage Control, Begriff zur Bezeichnung der Lichtbogenlage- und Längensensorik über Messung der Lichtbogenspannung

Interne Basisdokument zur Algorithmierung: Nahtverfolgung_WIG_DC2.mcd

Algorithmierung:

- Hardware-Vorfilter TP1
- Abtastung U_a mit 80kS/s 13bit taktsynchron
- Stromabhängige Spannungskorrektur (ohmsch), einstellbar (Start 10mOhm), num16
- Software-Filter TP1, 25Hz (shift 9), Restfehler 9 μ V (512, num32)
- Abtastung mit 1kS/s (Hauptschleife)
- Software-Filter TP1, einstellbar (shift 3 bis 16), Restfehler <1.2mV
- Start bei $I > 0$ mit shift 3, step alle 100ms auf Einstellwert (schneller transienter Start)
- Skalierung Sub(5V), Mult(0.5), Messbereich 5V bis 25V
- sample/transmit CAN 10ms bei $I > 0$ auf Msg. 0196 (ANA04 Int06)
- bei Pulsen <25Hz, transmit CAN bit mit $I_1=1$ und $I_2=0$, >25Hz = 0.

Funktion „Kompensation“ (stromabhängige Spannungskompensation)

Die Lichtbogenspannung ist von vielen Einflussfaktoren abhängig. Die Abhängigkeit der Lichtbogenspannung von der Lichtbogenlänge ist gewünscht (der Begriff AVC beruht darauf). Die Abhängigkeit der Lichtbogenspannung vom Lichtbogenstrom wirkt störend, besonders bei Stromänderungen (Pulsen, Rampen).

Die Funktion „Kompensation“ soll die Stromabhängigkeit im Idealfall kompensieren. Hierfür wird der gemessene Strom mit einem Anpassfaktor multipliziert und von der gemessenen Spannung abgezogen. Der ideale Anpassfaktor ist physikalisch gesehen ein Widerstandswert und hängt von verschiedenen Randbedingungen ab, unter anderen von Widerstand und Temperatur der Schweißkabel und der Elektrode, von der Schmelzbadgröße, vom Grund- und Zusatzmaterial und vom Schutzgas.

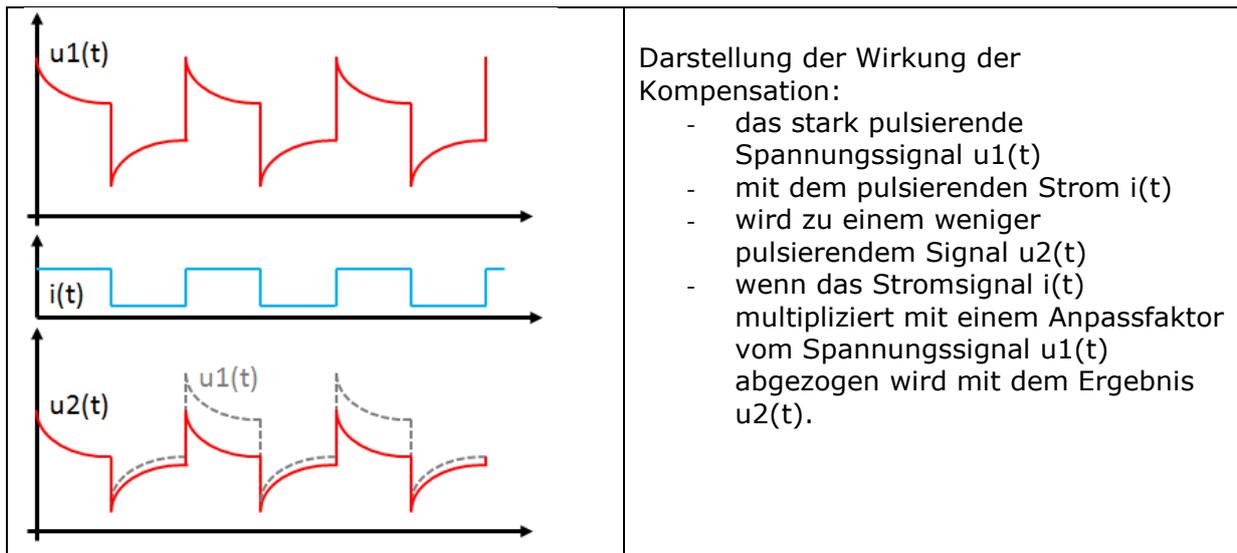
Übersicht stromabhängige Spannungskompensation (Parameter „Kompensationsstufe“)

| Stufe | Ohmsch [mOhm] | Korrektur [V/100A] | Stufe | Ohmsch [mOhm] | Korrektur [V/100A] |
|-------|---------------------|--------------------|-------|---------------|--------------------|
| 0 | - 20 | +2 | 5 | 30 | -3 |
| 1 | -10 | +1 | 6 | 40 | -4 |
| 2 | 0 | +/- 0 | 7 | 50 | -5 |
| 3 | 10 (Werkseinst.) | -1 | 8 | 60 | -6 |
| 4 | 20 | -2 | 9 | 70 | -7 |

Für eine einfache Optimierung der Funktion „Kompensation“ kann der Anpassfaktor einfach über den Parameter „Kompensationsstufe“ verändert werden. Die gewählte „Kompensationsstufe“ bestimmt, welcher (ohmsche) Anpassfaktor im Kompensationsalgorithmus verwendet wird. Die Werkseinstellung ist Kompensationsstufe 3.

Der Algorithmus der Stromkompensation hat mathematisch die Form:

$$\text{Kompensierter Wert} = \text{Ausgangsspannung} - \text{ohmscher Anpassfaktor} * \text{Ausgangsstrom.}$$



Funktion „Filter“

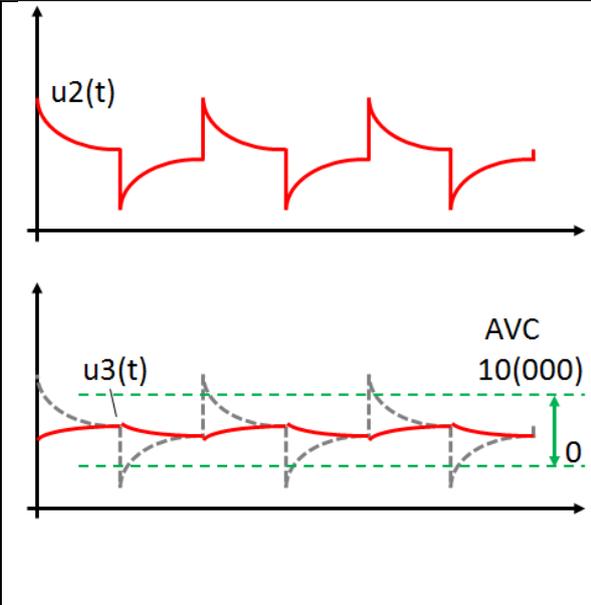
Man sieht, dass mit der Funktion „Kompensation“ die Spannungsschwankungen nicht vollständig kompensiert werden können, da Elektrodentemperatur und Schmelzbadgröße sich bei Stromänderungen erst verzögert ändern und auch Einfluss auf die Lichtbogenlänge haben.

Daher wird das kompensierte Signal zusätzlich gefiltert. Das Signal $u_2(t)$ wird dadurch geglättet zum Ergebnis $u_3(t)$. Die Stärke der Glättung wird durch den Parameter „Filterstufe“ festgelegt. Je größer die Filterstufe ist, umso stärker ist die Glättung. Werkseinstellung für das Filter ist Stufe 7.

Beachte: Das Spannungssignal von Lichtbogenlängenänderungen wird durch das Filter ebenfalls geglättet.

Übersicht Filterstufen (Parameter "Filterstufe")

| Stufe | shift | 3dB Grenzfrequenz | Stufe | shift | 3dB Grenzfrequenz |
|-------|-------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|
| 0 | 3 | 20 Hz | 7 (Werkseinst.) | 10 | 0.16 Hz |
| 1 | 4 | 10 Hz | 8 | 11 | 0.08 Hz |
| 2 | 5 | 5 Hz | 9 | 12 | 0.04 Hz |
| 3 | 6 | 2.5 Hz | 10 | 13 | 0.02 Hz |
| 4 | 7 | 1.25 Hz | 11 | 14 | 0.01 Hz |
| 5 | 8 | 0.6 Hz | 12 | 15 | 5e-3 Hz |
| 6 | 9 | 0.3 Hz | 13 | 16 | 2.5e-3 Hz |



Darstellung der Wirkung des Filters:

- stark schwankendes Spannungssignal $u_2(t)$
- wird durch Filterfunktion geglättet
- zu einem geglätteten Signal $u_3(t)$

Skalierung:

Das geglättete Signal $u_3(t)$ wird skaliert zum AVC-Nahtverfolgungssignal und ausgegeben. Die Skalierung erfolgt durch Abzug eines Offsets und Multiplikation mit einem Skalierungsfaktor. Die Skalierung ist vom Anwender nicht veränderbar.

Bedeutung der von der Schweißstromquelle gelieferten Signalwerte

Auch wenn die Abkürzung „AVC“ nahelegt, dass die von der Schweißstromquelle gelieferten Signalwerte der Lichtbogenspannung entsprechen: dies ist nicht eindeutig der Fall.

Die Steuerung der Schweißstromquelle ermittelt das rückgemeldete Signal zusammengefasst auf folgende Art:

- Wenn kein Schweißstrom fließt (auch bei Leerlauf-Spannung), wird als Signalwert 0 zurückgeliefert.
- Wenn Schweißstrom fließt, wird die Spannung am Ausgang der Schweißstromquelle gemessen ($\rightarrow u_1(t)$).
- Dieser Spannungswert wird um einen bestimmten Faktor mit dem fließenden Stromwert korrigiert, ($\rightarrow u_2(t)$). Der Wert ist parametrierbar mit dem Parameter „Kompensationsstufe“.
- Der so ermittelte Wert wird in einem Filter geglättet, ($\rightarrow u_3(t)$). Die Stärke der Glättung parametrierbar mit dem Parameter „Filterstufe“.
- Der so ermittelte Wert wird zur besseren Ausnutzung des Signalbereiches durch Abzug eines Offsets und Multiplikation einer Verstärkung skaliert.

Da die stromabhängige Spannungskompensation die Skalierung beeinflusst, ist eine genaue Angabe der Skalierung nicht möglich.

Einstellung im Jobsystem

Für unterschiedliche Schweißbedingungen existieren unterschiedliche Optima aller Parametereinstellungen. Es kann sein, dass eine Parametereinstellung für viele unterschiedliche Schweißbedingungen gut funktioniert. Dies hängt von den Anforderungen an Geschwindigkeit und Genauigkeit der Brenner-Positionsregelung ab. Unter Umständen ist aber eine einzelne Optimierung auf die speziellen Schweißbedingungen erforderlich.

Zur Anpassung der Aufbereitung des AVC-Signals stehen die Parameter „Filterstufe“ und „Kompensationsstufe“ für jeden Job einzeln optimierbar zur Verfügung.

Direkte Einstellung über Bussystem

Der direkte Zugriff über das Bussystem erlaubt die getrennte Einstellung der Parameter „Filterstufe“ und „Kompensationsstufe“. Nutzung der „Flex-Parameter“ des LorchNet-Connector.

Abgriff des AVC-Signals:

- Int 06, Analogkanal 4, (0 bis 10V)
- LorchNet-Connector, Nahtverfolgungsspannung / seam tracking voltage

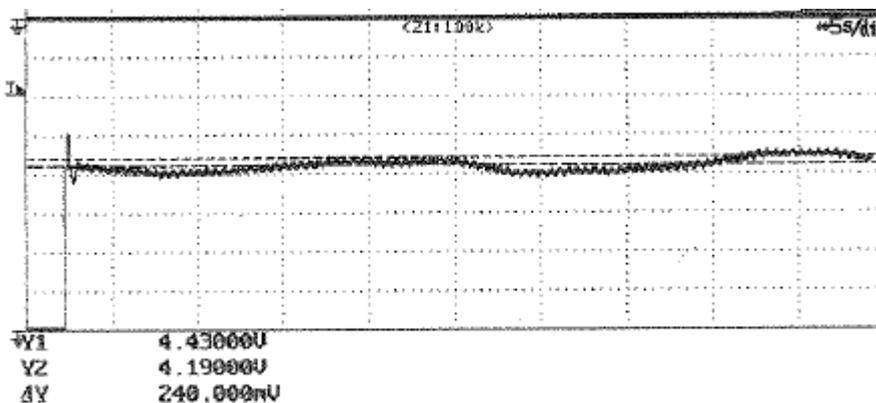
Optimierung während des Schweißens

Die Parameter „Filterstufe“ und „Kompensationsstufe“ erscheinen in der Bedienung hinter den anderen Prozessparametern (Tasten < >), wenn ein Automatisierungsinterface angeschlossen ist, sonst nicht. Während des Schweißens können die Parameter verstellt und optimiert werden.

Anwendung

Die Werkseinstellung ist ein guter Start. Es ist sehr hilfreich, wenn im Zuge der Einrichtung des AVC das von der Maschine gelieferte Signal im Zeitverlauf dargestellt werden kann. Das folgende Bild zeigt eine Aufnahme der Analogspannung des Int06, wobei 0V..10V einem Zahlenbereich von num. 0 bis num. 10000 entspricht.

Die Aufnahme entstand an einem WIG-DC-2Hz-Puls-Prozess an einem unrund gespannten Rohr, so dass es zu Lichtbogenlängenänderungen kommen würde. Die Werkseinstellung filterte das 2Hz-Pulsen hinreichend gut raus, die Höhenregelung funktionierte. Als Referenzwert wurde etwa 4200 verwendet.



Eine Versuchsschweißung zur Einstellung der Startverzögerung, des Referenzwertes, des Blind-Spots, der Verstärkung und der maximalen Korrekturgeschwindigkeit für die externe AVC-Regelung ist unerlässlich.

Ein erster Versuch mit großer Lichtbogenlänge kann helfen, die Grundparameter für die externe AFC-Regelung zu testen, ohne dass die WIG-Elektrode durch ungewollten Kurzschluss beschädigt wird.

Die sinnvolle Einstellung der Parameter der externen AVC-Regelung ist entscheidend für den Erfolg.

Externe AVC-Regelung (Höhenverstellung)

Eine bewährte Art der AVC-Regelung besitzt folgende Parameter und Eigenschaften:

| Externer Parameter | Beschreibung, Eigenschaft |
|---------------------------|--|
| Gain | Höhenverstellung bei einer Differenz des AVC-Signals vom Referenzwert, Einheit = 1 mm/Differenzwert (1mm/Differenzwert kann in einer Steuerung z.B. auf 100% normiert sein) |
| Referenzwert | Referenzwert für das AVC-Signal, welches der gewünschten Höhe entspricht |
| Bias | Geschwindigkeit der Höhenverstellung, Einheit = 1 mm/s (2mm/s kann in einer Steuerung z.B. auf 100% normiert sein) |
| Blindspot | Differenzwert, welcher zunächst überschritten sein muss, bevor die Höhenverstellung durch den Gain ausgelöst wird. Der Wert vom Blindspot „beruhigt“ die Höhenregelung vor zu häufigen kleinen Stellvorgängen. Einheit = 1mm/Differenzwert. Der Blindspot wird nicht vom Gain abgezogen, d.h. nach Überschreitung des Blindspot wird der Gain vollständig als Höhenverstellung umgesetzt. |

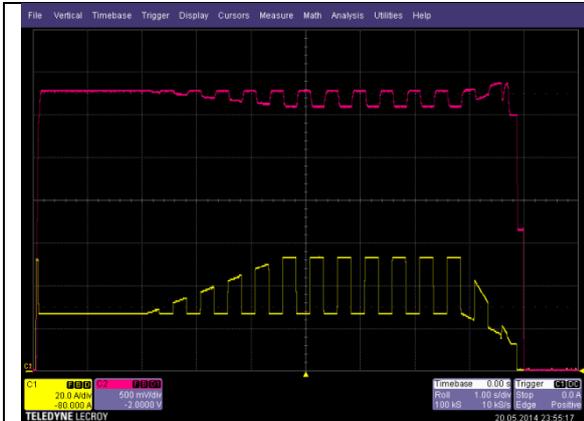
Hinweise zu Problembildern und Abhilfe

| Problembilder | Hinweise |
|---|--|
| Am Start und/oder am Ende fährt die Positionsregelung ungewollt nach oben | <ul style="list-style-type: none"> • Wenn kein Strom fließt, wird als Signal 0 geliefert. Die Positionsregelung startet zu früh und/oder bleibt zu lange am Ende an. • Empfehlenswert ist ein Start der Positionsregelung erst nach völliger Ausbildung des Schmelzbades • Empfehlenswert ist eine Beendigung der Positionsregelung, bevor sich das Schmelzbad am Ender der Schweißung ändert (z.B. bei Überlappschweißung oder Stromabsenkung) |
| Lichtbogen wird immer länger, oder immer kürzer bis zum Kurzschluss | <ul style="list-style-type: none"> • Die Richtung der Regelverstärkung kann falsch sein. Negieren. • Der Referenzwert ist falsch oder ungeeignet • Die Verstärkung (Gain) oder Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu groß • Die Parameter „Kompensationsstufe“ K, „Filterstufe“ F sind völlig falsch. Werkseinstellung probieren. K=3, F=7 |
| Lichtbogenlänge wird gar nicht nachgeregelt | <ul style="list-style-type: none"> • Die Verstärkung (Gain) oder maximale Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu klein • Blindspot ist zu groß • Die Parameter „Kompensationsstufe“ K, „Filterstufe“ F sind völlig falsch. Werkseinstellung probieren. K=3, F=7 |

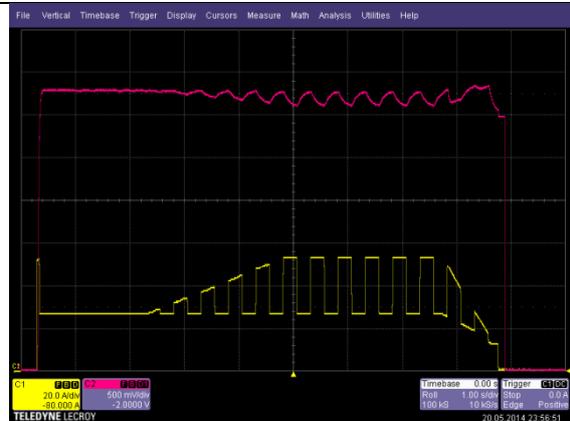
| | |
|--|---|
| <p>Lichtbogenlängenregelung schwankt (ohne Pulsen)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die Verstärkung (Gain) oder maximale Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu groß • Blindspot ist zu klein • Der Parameter „Filterstufe“ F ist nicht optimal. Schrittweise Verstellung des Parameter F und in jede Richtung und Testschweißung, welche Richtung besser wird. Suchen des Optimums. |
| <p>Lichtbogenlängenregelung (ohne Pulsen) geht, aber zu langsam</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die Verstärkung (Gain) oder Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu klein • Blindspot ist zu groß • Der Parameter „Filterstufe“ F ist nicht optimal. Schrittweise Verstellung des Parameter F und in jede Richtung und Testschweißung, welche Richtung besser wird. Suchen des Optimums. |
| <p>Lichtbogenlängenregelung (ohne Pulsen) geht, aber beim Pulsen wird in der Hochstromphase der Lichtbogen ungewollt verlängert, es entstehen so starke Schwankungen</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Der Parameter „Kompensationsstufe“ K ist zu klein. Schrittweise Verstellung des Parameter K nach oben, Suchen des Optimums. • Der Parameter „Filterstufe“ F ist nicht optimal. Schrittweise Verstellung des Parameter F nach oben, Suchen des Optimums. • Blindspot ist zu klein • Die Verstärkung (Gain) oder Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu groß <p>Wenn besser, aber Optimum schwer zu finden, die anderen Hinweispunkte beachten</p> |
| <p>Lichtbogenlängenregelung (ohne Pulsen) geht, aber beim Pulsen wird in der Hochstromphase der Lichtbogen ungewollt verkürzt, es entstehen so starke Schwankungen</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Der Parameter „Kompensationsstufe“ K ist zu groß. Schrittweise Verstellung des Parameter K nach unten, Suchen des Optimums. • Der Parameter „Filterstufe“ F ist nicht optimal. Schrittweise Verstellung des Parameter F nach oben, Suchen des Optimums. • Blindspot ist zu klein • Die Verstärkung (Gain) oder Korrekturgeschwindigkeit (Bias) ist zu groß <p>Wenn besser, aber Optimum schwer zu finden, die anderen Hinweispunkte beachten</p> |
| <p>Es entstehen unterschiedliche Lichtbogenlängen bei unterschiedlichen Strömen oder bei Stromrampen</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Wenn möglich, sollte der Referenzwert bei unterschiedlichen Strömen oder bei Stromrampen mit verändert werden. Quasi eine Einzeloptimierung. • Wenn das nicht möglich ist, kann über den Parameter „Kompensationsstufe“ K der Stromeinfluss kompensiert werden. Wenn der Lichtbogen im Zusammenspiel mit Elektrode, Gas, Material, Schmelzbadgröße, u.a.m. eine nicht linear vom Strom abhängige Spannung aufbaut, kann diese Kompensation jedoch nicht vollständig sein. • Es kann hilfreich sein, den Blindspot zu erhöhen. |
| <p>Es ändert sich die Höhe, wenn der Kompensationsparameter verstellt wird, bzw. es ist für dieselbe Höhe ein anderer Referenzwert für die Höhenregelung nötig</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Dies ist systembedingt durch die Kompensationsfunktion unvermeidlich. Eine Änderung der „Kompensationsstufe“ K ändert das AVC-Signal umso mehr, je größer der Schweißstrom ist. |

Beispiele:

Oben (red): Uana4 (Nahtverfolgungssignal aus Int06, entspricht 0..10000 num
 Unten (gelb): Ia (20A/div), Startstrom ca. 2s, Pulsen 2 Hz.



Filter Stufe 0 (shift 3, 20Hz), Komp. 32mOhm



Filter Stufe 3 (shift 6, 2.5Hz), Komp. 32mOhm



Filter Stufe 5 (shift 8), 0.6Hz, Komp. 0mOhm

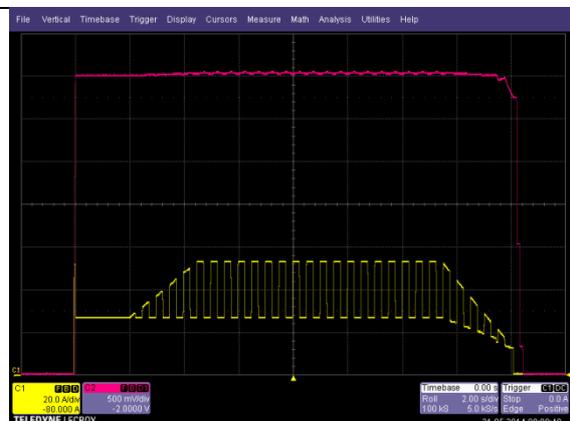


Filter Stufe 7 (shift 10), 0.16Hz, Komp. 10mOhm

Man erkennt die zunehmende Glättung des von der Lichtbogenspannung abgeleiteten Signals

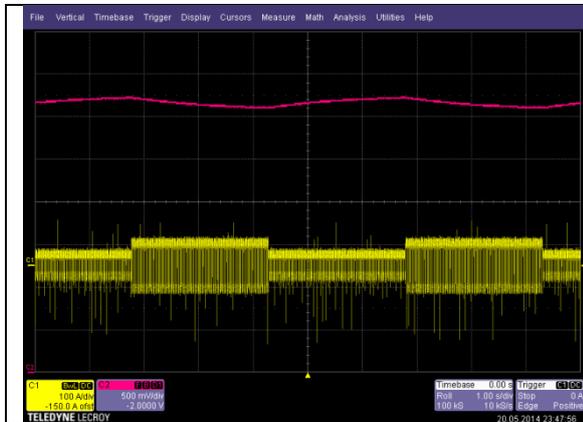


Filter Stufe 5 (shift 8), 0.6Hz, Komp. 0



Filter Stufe 5 (shift 8), 0.6Hz, Komp. 10mOhm

Man erkennt die Wirkung der stromabhängigen Spannungskompensation (ohmsch). Die Kompensationsstufe ist mit Bedacht zu wählen. Eine falsch eingestellte Kompensation kann das Signal völlig unbrauchbar machen und das lässt sich auch durch eine starke Filterstufe nicht völlig beheben. Werkseinstellung ist Stufe 3 (10mOhm).



AC-Betrieb 30Hz, mit zusätzlichem Puls ca. 0.2Hz, timescale 1s/div, Filter Stufe 7 (shift 10), Komp. 10mOhm

Einstellbeispiele

Stahl, $t = 5$ mm, Rohrdurchmesser 60 mm, Schweißgeschwindigkeit 25 cm/min, Lichtbogenlänge 3mm

Stromquellen-Parameter:

- Komp. Stufe 3 (Werkseinstellung), Filterstufe 7 (Werkseinstellung)
- Stromsollwert WIG DC = 95 A, Puls = 115 A.

Parameter der externen AVC-Regelung (Höhenverstellung):

- Bias 1.8 mm/s, Gain 0.2 mm/Differenzwert, Blindspot 0.3 mm/Differenzwert, Referenzwert 27.

Höhenänderungen auf Grund eines unrunder Laufs des Rohrs von 5 mm werden zuverlässig korrigiert.

Alu, $t = 2$ mm, Rohrdurchmesser 60 mm, Schweißgeschwindigkeit 20 cm/min, Lichtbogenlänge 6mm

Stromquellen-Parameter:

- Komp. Stufe 3 (Werkseinstellung), Filterstufe 4
- Stromsollwert WIG AC Sinus = 65 A.

Parameter der externen AVC-Regelung (Höhenverstellung):

- Bias 1.6 mm/s, Gain 0.35 mm/Differenzwert, Blindspot 0.5 mm/Differenzwert, Referenzwert 23.

Höhenänderungen auf Grund eines unrunder Laufs des Rohrs von 5 mm werden zuverlässig korrigiert.

Bei Alu ist die Höhenregelung schwieriger, als bei Stahl. Daher musste hier mit einer größeren Lichtbogenlänge gearbeitet werden.