

Sommerprüfung 2020

Dokumentation Abschlussprüfung Teil II

Signalgenerierung für einen Funktionsgenerator

- Pascal Guttman

Betrieblicher Auftrag

Signalgenerierung für einen Funktionsgenerator

Prüfling

Pascal Guttman, Geb.: 21 Jan 1999, Nr: 1030

Kammer

IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg

Ausbildungsberuf

Elektroniker/-in für Geräte und Systeme

Erstellungsdatum

02.07.2020

Betrieblicher Betreuer

Herr Rudolf Schleicher

Ausbildungsbetrieb

Continental Automotive GmbH

Heinrich-Hertz-Straße 45

78052 Villingen-Schwenningen

Inhaltsverzeichnis

Protokoll und persönliche Erklärung zum Betrieblichen Auftrag.....	4
Genehmigung des Betrieblichen Auftrags.....	5
Beschreibung des Betrieblichen Auftrags	8
Aktueller Zustand	8
Angestrebter Zustand.....	8
Anforderungen	8
Abgrenzung des Betrieblichen Auftrags.....	9
Umfang des Betrieblichen Auftrags	9
Sonstige Entwicklungsschritte.....	9
Informationsphase	10
Planungsphase.....	11
Anforderungen	11
Zeitplan.....	11
Architektur.....	11
Durchführungsphase	12
Schaltungsentwicklung.....	12
Eingänge	12
Spannungsversorgung	12
DDS Chip	12
Sägezahngenerator.....	13
PWM und Rechteckgenerator	13
Multiplexer	13
Variabler Verstärker	13
DC Offset	14
Referenz und Steuerspannungen	15
Leiterplatte fertigen	15
Herausforderungen und Lösungen.....	15
Inbetriebnahme Anleitung	16
Kontrollphase	16
VDE-Prüfung	16
Erfüllung der Anforderungen	16
Anlagen.....	17
Zeitplan.....	17
Datenblattauszüge	18
AD9833	18

TLC7524	20
AD603	21
MCP4261	23
BC547	24
Schaltplan	25
Stückliste	37
Kosten	39
Layout	40
Bestückte Platine	41
Prüfprotokoll	42

Protokoll und persönliche Erklärung zum Betrieblichen Auftrag

Abschlussprüfung „Ausbildungsberuf“ Betrieblicher Auftrag Protokoll und persönliche Erklärung

Prüfungsbewerber Pascal Guttmann	Ausbildungsstätte Continental Automotive GmbH Villingen
---	---

Geboren am: 21. Jan 1999 Geburtsort: Villingen - Schwenningen Geschlecht: männlich

Prüfungs-Nr. 1030

Bezeichnung des Betrieblichen Auftrags: Signalgenerierung für einen Funktionsgenerator

Auftragsbeginn:	05.06.2020
Auftragsfertigstellung:	03.07.2020
Zeitaufwand in Std.:	20

Die Dokumentation sollte nach folgendem Schema aufgebaut werden:

(Bitte beachten Sie, dass die Dokumentation **4 MB nicht überschreiten darf**. Jede Seite sollte durchnummeriert und mit dem Namen des Prüflings versehen werden)

Deckblatt (Enthält Auftragsbezeichnung, Name des Prüflings, Ausbildungsbetrieb und Name des Projektverantwortlichen)

Inhaltsverzeichnis

Antrag auf Genehmigung des Betrieblichen Auftrags und deren Genehmigung

Beschreibung des betrieblichen Auftrages

Beschreibung des IST-Zustandes

Beschreibung des ZIEL-Zustandes

Beschreibung der Durchführung

Zeitnachweis (ggf. Kostenbetrachtung)

Anhang (zum Beispiel: Quellen, Literaturhinweise, Schaltpläne, techn. Zeichnungen, Photographien, Softwarelisting, Datenblätter, Baugruppenpläne usw.)

Bestätigung der Ausbildungsfirma:

Wir bestätigen, dass der/die Auszubildende den oben bezeichneten betrieblichen Auftrag im Zeitraum

vom 05.06.2020 bis 03.07.2020 selbständig ausgeführt hat.

Projektverantwortliche/r in der Firma:

Rudolf	Schleicher	+49 7721 672032	
Vorname	Name	Telefon	Unterschrift
Vorname	Name	Telefon	Unterschrift

Persönliche Erklärung:

Ich versichere, dass ich den Betrieblichen Auftrag und die dazugehörigen Dokumentationen selbständig erstellt habe. Ebenso bestätige ich, dass ich bei der Erstellung der Dokumentation weder teilweise noch vollständige Passagen aus Projektarbeiten übernommen habe, die bei der prüfenden oder einer anderen Kammer bereits eingereicht wurden, bzw. Projektarbeiten entnommen habe, die nicht von mir erstellt wurden. Mir ist bekannt, dass eine auch nur teilweise unrichtige persönliche Erklärung als schwerwiegende Täuschungshandlung gewertet und die Prüfung als nicht bestanden erklärt wird.

Ort/Datum: VS / 2.07.20 Unterschrift des Prüflings: 

Genehmigung des Betrieblichen Auftrags



Sommerprüfung 2020

Ausbildungsberuf

Elektroniker/-in für Geräte und Systeme

Prüfungsbezirk

SBH EGS aktuelle AP (AP T2V1)

Herr Pascal Guttmann

Identnummer: 524028

Prüflingsnummer: 1030

E-Mail: pascal@kaiguttmann.de, Telefon: +49 177 9226848

Ausbildungsbetrieb: Continental Automotive GmbH

Betrieblicher Betreuer/Ausbilder: Herr Rudolf Schleicher

E-Mail: rudolf.schleicher@continental-corporation.com, Telefon: +49 7721
672032

Bezeichnung des Betrieblichen Auftrages

Signalgenerierung für einen Funktionsgenerator

5 Auftragsplanung

- Definieren der Anforderungen
- Zeitplan erstellen
- Schaltungskonzept entwickeln
- Systemarchitektur in Blockschalbild festhalten

6 Auftragsdurchführung

- Schaltung entsprechend dem Blockschalbild entwickeln.
- Leiterplatten Layout anfertigen.
- Leiterplatte fräsen, bestücken und prüfen.
- Funktionalität der aufgebauten Schaltung prüfen.
- Anleitung zur Inbetriebnahme schreiben.
- Projektdokumentation schreiben.

7 Auftragskontrolle

- Sicht- und Funktionsprüfung der Signalgenerierung
- Prüfen, ob die geforderten Anforderungen erfüllt werden.
- VDE-Prüfung des gesamten Funktionsgenerators
- Abnahmeprotokoll

8 Prozessmatrix (Entscheidungshilfe)

siehe Anlage 1

9 Anlagen

keine

10 Hilfsmittel

Keine Angaben

11 Hinweis!

Ich bestätige, dass der Antrag auf Genehmigung des Betrieblichen Auftrages dem Ausbildungsbetrieb vorgelegt und vom Ausbildenden genehmigt wurde. Der Antrag auf Genehmigung des Betrieblichen Auftrages enthält keine Betriebsgeheimnisse. Soweit diese für die Antragstellung notwendig sind, wurden nach Rücksprache mit dem Ausbildenden die

3

1 Bezeichnung des Betrieblichen Auftrages

Signalgenerierung für einen Funktionsgenerator

2 Geplanter Bearbeitungszeitraum

Beginn: 05.06.2020
Ende: 03.07.2020

3 Auftragsbeschreibung

Die Ausbildung verfügt über ältere Modelle von Funktionsgeneratoren, die durch ein kompliziertes Menüsystem mit kleiner Anzeige nur schwer zu bedienen sind. Diese alten Geräte bieten viel Verbesserungspotential, da für Ausbildungs- und Lehrzwecke eine intuitive Bedienung besonders wichtig ist.

Deshalb soll ein neuer Funktionsgenerator eingesetzt werden, der durch eine bessere Gestaltung der Bedienung und des Feedbacks an den Benutzer sicherstellt, dass verstanden wird, welche Funktionalität ein Funktionsgenerator hat.

In der Ausbildung soll der neue Generator hauptsächlich für praktische Modellaufbauten verwendet werden, um gelernte Theorie zu verinnerlichen. Einige Beispiel Experimente sind:

- Hoch- und Tiefpass aufbauen und ausmessen
 - Gleichrichter aufbauen und ausmessen
 - PWM zum Übertragen von Information nutzen (z.B. Servomotor ansteuern)
 - Wechselstromschaltungen aufbauen und betreiben
- Deshalb wurde ein Projekt zur Entwicklung und Fertigung eines Funktionsgenerators gestartet.

Der gesamte Funktionsgenerator wird als Projekt der Auszubildenden bei Continental angefertigt. Dabei ist die Entwicklung, der Aufbau, das Testen und die Anbindung an den Funktionsgenerator der Signalgenerierungseinheit Teil dieses Betrieblichen Auftrags. So werden (andere, nicht DIESEM Betrieblichen Auftrag zugehörige) Teile des Funktionsgenerators außerhalb des Betrieblichen Auftrags entwickelt und gefertigt.

So gibt es zB einen Betrieblichen Auftrag von Jens Fuchs, der sich in seinem Betrieblichen Auftrag unter anderem mit der Entwicklung der Endstufe beschäftigt.

4 Information

- Informationen zu verfügbaren Schnittstellen zum Funktionsgenerator einholen.
- Sichten von Schaltplänen schon bestehender Funktionsgeneratoren zum sammeln von Informationen über verschiedene Schaltungskonzepte
- Analyse von Datenblättern geeigneter Bauelemente für verschiedene Schaltungskonzepte

2



Abschlussprüfung Teil 2 Elektroniker/-in EGS

Prozessmatrix für die Genehmigung eines „Betrieblichen Auftrages“
 zum Bauen / Errichten [X], Andern [], Instandhalten [] eines betrieblichen Prozesses. (Zutreffendes bitte ankreuzen)
 Bei der Auswahl der Teilprozesse muss innerhalb eines jeden Prozesses die vorgegebene Mindestpunktzahl erreicht werden.

Name Prüfling:		Name:		Einsatzort:		Zeit	
Pascal Guttmann		Elektroniker für Geräte- und Systemtechnik		Berufsausbildung		in Std.	
Phase	Prozess	Teilprozesse		Punkte	Auswahl Punkte	Mindestpunktzahl	Zeit in Std.
Information	Informationsbeschaffung / Analyse des Ausgangszustandes	Kundenvünsche / Fehlerbeschreibungen auswerten	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Technische Unterlagen beschaffen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2 Pkt.	3
		Technische Unterlagen auftragsbezogen auswerten, (Istzustand feststellen) Fehlfunktionen unter techn. / org. Bedingungen feststellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
Auftragsplanung	Arbeits- und Ablaufplanung	Schaltungsunterlagen planen / auswählen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Funktionelle Abläufe planen und festlegen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Technische / organisatorische Schnittstellen und zeitliche Rahmenbedingungen klären	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	3 Pkt.	3
		Teilaufträge veranlassen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Detaillierte Arbeitsablaufplanung einschließlich einer Zeitplanung erstellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Verfügbarkeit des Systems sowie von Prüf- und Hilfsmitteln klären	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
Materialbeschaffung	Materialbeschaffung	Verbindungselemente, Leitungen und Komponenten auswählen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Material bereitstellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2 Pkt.	
Auftragsdurchführung	Montieren / Demontieren / Verbinden	Hilfs- und Prüfmittel bereitstellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Elektr. Baugruppen / Komponenten einbauen / austauschen / anpassen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Elektr. Baugruppen / Komponenten verdrehen / anschließen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2 Pkt.	
		Fehler und Störungen in elektrischen Systemen feststellen, eingrenzen und beheben	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		10
Auftragskontrolle	In Betrieb nehmen	Anlage, Baugruppen einstellen und abgleichen, Sollwerte prüfen, Betriebswerte messen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Steuerungsprogramme erstellen / ändern / anpassen / testen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 Pkt.	
		Elektronische Baugruppen / Software parametrieren	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Programmablauf überwachen, Fehler feststellen / beheben	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Funktionseinheiten prüfen / System optimieren	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Freigabe / Übergabe an den Kunden	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	3 Pkt.	
Auftragskontrolle	Andern / Erstellen	BO / A3 (VBO 4) / VDE 0100 / VDE 0113 Prüfung	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Sicherheitseinrichtungen prüfen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		4
		Prüfprotokoll erstellen **	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Schaltungsunterlagen ändern / erstellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2 Pkt.	
		Arbeitszeit / Materialverbrauch dokumentieren **	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Berichte / Abnahmeprotokoll erstellen	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
max. Zeit in Std. s. Verordnung 20 h							20

** nicht abwählbar

entsprechenden Stellen unkenntlich gemacht.

Mit dem Absenden des Antrages auf Genehmigung des Betrieblichen Auftrages bestätige ich weiterhin, dass der Antrag eigenständig von mir angefertigt wurde. Ferner sichere ich zu, dass im Antrag auf Genehmigung des Betrieblichen Auftrages personenbezogene Daten (d. h. Daten über die eine Person identifizierbar oder bestimmbar ist) nur verwendet werden, wenn die betroffene Person hierin eingewilligt hat.

Bei meiner ersten Anmeldung im Online-Portal wurde ich darauf hingewiesen, dass meine Arbeit bei Täuschungshandlungen bzw. Ordnungsverstößen mit „null“ Punkten bewertet werden kann. Ich bin weiter darüber aufgeklärt worden, dass dies auch dann gilt, wenn festgestellt wird, dass meine Arbeit im Ganzen oder zu Teilen mit der eines anderen Prüfungsteilnehmers übereinstimmt. Es ist mir bewusst, dass Kontrollen durchgeführt werden.



Beschreibung des Betrieblichen Auftrags

Der Betriebliche Auftrag befasst sich mit der Entwicklung und dem Aufbau der Signalgenerierung eines Funktionsgenerators. Nicht aber mit dem Entwickeln und Aufbauen des gesamten Gerätes.

Aktueller Zustand

Die Ausbildung verfügt über ältere Modelle von Funktionsgeneratoren, die durch ein kompliziertes Menüsystem mit kleiner Anzeige nur schwer zu bedienen sind. Diese alten Geräte bieten viel Verbesserungspotential, da für Ausbildungs- und Lehrzwecke eine intuitive Bedienung besonders wichtig ist.

Deshalb soll ein neuer Funktionsgenerator eingesetzt werden, der durch eine bessere Gestaltung der Bedienung und des Feedbacks an den Benutzer sicherstellt, dass verstanden wird, welche Funktionalität ein Funktionsgenerator hat.

In der Ausbildung soll der neue Generator hauptsächlich für praktische Modellaufbauten verwendet werden, um gelernte Theorie zu verinnerlichen. Einige Experimente, die durchgeführt werden sollen sind:

- Hoch- und Tiefpass aufbauen und ausmessen
- Gleichrichter aufbauen und ausmessen
- PWM zum Übertragen von Information nutzen (z.B. Servomotor ansteuern)
- Wechselstromschaltungen aufbauen und betreiben

Deshalb wurde ein Projekt zur Entwicklung und Fertigung eines Funktionsgenerators gestartet.

Angestrebter Zustand

Anforderungen

Die Anforderungen ergeben sich aus dem Einsatzzweck. Der Generator soll eine intuitive und einfache Bedienbarkeit aufweisen. Es soll zudem leicht erkennbar sein, welche Spannung gerade ausgegeben wird. Um eine ausreichend große Bedienfläche zu geben, soll ein großer Touchscreen verwendet werden.

Es sollen verschiedene Wellenformen und Modi unterstützt werden, die eine veränderbare Amplitude von bis zu mindestens 10V und ein einstellbarer Offset aufweisen und durch das Prinzip der Direkten Digitalen Synthese (DDS) erzeugt werden sollen:

- Sinus bis 1MHz
- Rechteck bis 1MHz
- Dreieck bis 1MHz
- PWM Logikpegel einstellbar
- Sägezahn aufwärts
- Sägezahn abwärts

Die Steuerung der Hardware soll digital von einer programmierbaren Einheit aus vorgenommen werden, um den Funktionsgenerator für spätere Änderungen und Updates empfänglich zu machen.

Abgrenzung des Betrieblichen Auftrags

Da die Entwicklung und Fertigung des gesamten Funktionsgenerators über das Maß des Betrieblichen Auftrags hinaus gehen würde, wurden Teile des Generators außerhalb des Betrieblichen Auftrags im Team entwickelt.

Umfang des Betrieblichen Auftrags

Im Umfang des Betrieblichen Auftrags befindet sich die Planung, Entwicklung, Fertigung und Prüfung der Signalgenerierung für den Funktionsgenerator.

Der Betriebliche Auftrag umfasst im Wesentlichen die folgenden Schritte zur Anfertigung der Signalgenerierung des Funktionsgenerators:

- Architektur der Schaltung
- Schaltungsentwicklung
- Erstellung des PCB Layouts
- PCB Fertigung, Bestückung
- Programmierung der Software zur Ansteuerung der Hardware durch die digitale Steuereinheit
- Funktionsprüfung
- Montage und Anschluss im Funktionsgenerator
- Anleitung zur Einstellung und Inbetriebnahme der Signalgenerierung
- VDE-Prüfung (des gesamten Funktionsgenerators)

Sonstige Entwicklungsschritte

Nicht Gegenstand dieses Betrieblichen Auftrags sind Teile des Funktionsgenerators, die nicht der Signalgenerierung entsprechen oder dieser direkt Angehören. Insbesondere sind damit gemeint:

- Die Endstufe
- Das Gehäuse
- Die Spannungsversorgung
- Die Software die zur Bedienung
- Die Software zum Ansteuern der Hardware mittels SPI
- Kalibrieren und Justieren der Hardware
- Kalibrieren und Justieren des kompletten Funktionsgenerators
- Der Aufbau der weiteren Funktionsgeneratoren, die in der Ausbildungswerkstatt eingesetzt werden sollen

Informationsphase

In der Informationsphase werden zunächst die Informationen für einzuhaltende Schnittstellen zum restlichen Generator eingeholt. Damit kann der Betriebliche Auftrag vom restlichen Aufbau des Generators abgegrenzt werden.

Bereits bestehende Schaltpläne von verschiedenen Funktionsgeneratoren aus dem Netz werden gesichtet, um weitere Ideen zur Umsetzung zu recherchieren. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf Probleme und Schwierigkeiten der bestehenden Schaltungen gelegt, um diesen möglichst ausweichen zu können.

Als weiterer Schritt werden Informationen zu DDS Chips eingeholt. Als besonders interessant stellen sich die zwei ICs „AD9833“ und „AD9106“ heraus. Einen Datenblattauszug des verwendeten AD9833 findet sich ab Seite 18. Weitere Informationen zur Auswahl des Chips finden sich im Kapitel Schaltungsentwicklung auf Seite 12, in welchem auch die Vor- und Nachteile des AD9833 im Vergleich zum AD9106 diskutiert werden.

Planungsphase

Anforderungen

Die Anforderungen an den Signalgenerator sind deckungsgleich mit den Anforderungen an den Funktionsgenerator, welche im Kapitel Anforderungen auf Seite 8 erläutert werden. Deshalb werden die Anforderungen an dieser Stelle nicht erneut gelistet.

Zeitplan

Es wurde ein Zeitplan angefertigt, der die geplante Arbeitsdauer der einzelnen Schritte während der Entwicklung festhält. Dabei war die verfügbare Kapazität an Werkzeugen und Maschinen (PCB-Fräsmaschine) ausreichend, sodass keine zusätzlichen Verzugszeiten eingeplant werden mussten.

Um den Einfluss der Lieferzeiten von Bauteilen und des - für die Endmontage extern gefertigten - PCBs möglichst gering zu halten, wurden Bestellungen so bald als möglich nach der Planung bzw. Fertigstellung der Tests des PCB Layouts getätigt.

Architektur

Vergleich Blockschaltbild auf Seite 25.

Die Signalgenerierung wird in einzelne Elemente aufgeteilt, die jeweils verschiedene Funktionen übernehmen, um die Schaltungsentwicklung in kleinere Elemente aufzuteilen. Ein Blockdiagramm der Architektur kann im Kapitel Schaltplan auf Seite 25 eingesehen werden.

Die Signalgenerierung wird extern mit symmetrischen 15V versorgt und bekommt digitale Steuersignale. Aus den 15V werden je positive und negative 5V durch Linearregler erzeugt.

Der Signalfluss beginnt mit der Erzeugung im DDS Chip. Dieser kann Sinus und Dreieck mit einer unveränderlichen Amplitude von ca. 300mV erzeugen, sowie ein Rechteck, das mit 0V bis 5V als Clock genutzt wird.

Das Sinus- oder das Dreieckssignal wird direkt am Multiplexer zur weiteren Verarbeitung bereitgestellt, zur Ausgabe einer Sägezahnspannung wird das Clock Signal des DDS Chips genutzt, um einen Zähler zu inkrementieren oder zu dekrementieren. Der Zählerwert wird anschließend durch einen DAC in ein analoges Signal konvertiert, das ebenfalls dem MUX zugeführt wird.

Um eine PWM auszugeben wird das Dreieckssignal des DDS Chip mit einer Referenz verglichen. Dieses Modul kann ebenfalls für die Ausgabe eines Rechtecks mit passender Amplitude zur Weiterverarbeitung genutzt werden.

Durch den MUX kann das auszugebende Signal gewählt werden, welches dann durch einen variablen Verstärker proportional zur gewünschten Amplitude verstärkt wird. Das Signal, welches nun eine angepasste Amplitude besitzt, wird durch einen OP mit einem einstellbaren Offset beaufschlagt.

Durchführungsphase

Während der Durchführungsphase wurden im Wesentlichen der Schaltplan entwickelt, das PCB Layout angefertigt, die Platine gefertigt und bestückt. Begleitet wurde die Durchführungsphase von ständigen Funktionskontrollen. So konnte auf Probleme noch während der Schaltungsentwicklung reagiert werden.

Schaltungsentwicklung

Eingänge

Vergleich Schaltplan auf Seite 26.

Es werden $\pm 15V$ bereitgestellt, diese werden wie die Masse durch Schraubklemmblocke auf die Platine geführt.

Da die Steuersignale mit 3,3V Logik arbeiten, die weiteren ICs auf der Platine jedoch 5V Logikeingänge besitzen, müssen die entsprechenden Signale auf einen höheren Pegel angehoben werden, um einen sicheren Datenempfang zu gewährleisten. Mit dem Jumper J1 können die digitale und die analoge Masseverbindung wahlweise auf der Platine zusammengeschlossen werden.

Pin	Name	Beschreibung
X1:1	OUT	Ausgangssignal der Signalgenerierung (SMA)
X1:2	AGND	Analoge Massereferenz für Ausgangssignal (SMA)
X2:1	DGND	Massereferenz für Steuersignale
X2:2	SDI	Serielle Dateneingangsleitung für SPI
X2:3	SCK	Taktsignal für SPI
X2:4	DIR	Zählrichtung für Sägezahn (0 = steigend / 1 = fallend)
X2:5	CS_AmpOff	Chip Select Digitales Poti zu Amplituden und Offseteinstellung
X2:6	CS_PWM	Chip Select Digitales Poti zu PWM-Referenzeinstellung
X2:7	CS_AD9833	Chip Select AD9833 zur Einstellung des DDS Parameter
X2:8	SELO	Steuereingang 0 für MUX
X2:9	SEL1	Steuereingang 1 für MUX
X3:1	+15V	Positive Eingangsspannung +15V (Schraubklemmblock)
X3:2	-15V	Negative Eingangsspannung -15V (Schraubklemmblock)
X4:1	AGND	Analoge Massereferenz (Schraubklemmblock)
X4:2	DGND	Digitale Massereferenz (Schraubklemmblock)

Spannungsversorgung

Vergleich Schaltplan auf Seite 27.

Es werden zwei Linearregler genutzt um +5V und -5V Spannung zu erzeugen.

DDS Chip

Vergleich Schaltplan auf Seite 28.

Eine DDS besteht üblicherweise aus einer Taktquelle, einem Zähler, einem Speicher und einem dazugehörigen DAC. Der Zähler wird im Takt inkrementiert.

Der Zählerstand wird an die Adressierung eines Speichers angeschlossen, indem die gewünscht Wellenform (z.B. ein Sinus) gespeichert ist. Der sich nun mit jedem Takt ändernde Ausgang des Speichers kann auch in den DAC gegeben werden.

Als Taktquelle dient dem AD9833 ein externer 25MHz Quarzoszillator. Durch ein Register können die Zähler Schritte, die bei jedem Takt auf den aktuellen Zählerstand aufaddiert werden, programmiert werden. Große Zähler Schritte ergeben eine höhere Frequenz, da der Speicher in weniger Zyklen überläuft als bei kleinen Zähler Schritten.

Der interne ROM Speicher, der einen Sinus eingespeichert hat, kann überbrückt werden, um ein Dreieck auszugeben.

Der AD9106 ist ein weiterer DDS Chip, der sich durch 4 Kanalbetrieb, frei programmierbaren Speichern und vielen weiteren Funktionen ebenfalls sehr gut für einen Funktionsgenerator eignen würde. Durch diesen IC hätten Teile der Hardware wie der Sägezahngenerator und das PWM Modul wegfallen können. Dennoch wurde der AD9833 ausgewählt, da der AD9106 nur in LFCSP 32 Packages erhältlich ist und nicht so „robust“ wie der AD9833 ist. Der Footprint des LFCSP 32 Packages ist sehr klein und ohne Lötstopmmaske ist dieser nur sehr schwer aufzulöten. Somit wäre keine Prototypfertigung mit der Leiterplattenfräse in der Ausbildung möglich.

Sägezahngenerator

Vergleich Schaltplan auf Seite 32 & 36.

Die Teilschaltung des Sägezahngenerators bekommt ihren Takt aus dem AD9833. Mit diesem wird ein Zähler inkrementiert oder dekrementiert. Der Zähler besteht aus zwei kaskadierten 4-Bit Zählern, deren Bits 0 bis 5 verwendet werden und direkt in einen parallel DAC gegeben werden. Der DAC hat zwei Stromausgänge, um eine Ausgangsspannung zu erhalten wird ein OP genutzt.

PWM und Rechteckgenerator

Vergleich Schaltplan auf Seite 33.

Die PWM und Rechteckgenerations besteht aus einem Komparator und einem Buffer. Mit dem Komparator wird eine PWM bzw. ein Rechteckspannung durch vergleichen einer Dreieckspannung mit einer Gleichspannung erzeugt. Um die Genauigkeit des Tastgrades von 50% für ein Rechteck zu erhöhen, kann statt einem Dreieck der Rechteck Takt des AD9833 verwendet werden. Dies sorgt dafür, dass Störungen der Referenzspannung stark unterdrückt werden.

Multiplexer

Vergleich Schaltplan auf Seite 29.

Der Multiplexer ist aus zwei Relais aufgebaut, die je zwei Wechsler besitzen. Die Relais werden von zwei Transistoren geschaltet. Um die Induktionsspannung beim Abschalten zu begrenzen sind Freilaufdioden vorhanden.

Variabler Verstärker

Vergleich Schaltplan auf Seite 30.

Der variable Verstärker wird mithilfe des AD603 realisiert. Dieser ist ein spannungsgesteuerter Verstärker. Die Steuerspannung wird zwischen „CPOS“ und „CNEG“ angelegt. Dabei entspricht eine positivere Differenzspannung einer höheren Verstärkung und umgekehrt.

Der Verstärkungsbereich indem die Verstärkung mit der Steuerspannung ausgewählt wird, kann durch den Rückkopplungswiderstand eingestellt werden. So sind je nach Widerstand Verstärkungsbereiche zwischen -11dB bis 31dB und 9dB bis 51dB eingestellt werden.

Bevor die Entscheidung zur Verwendung des AD603 fiel, wurde geplant ein digitales Potentiometer als Eingangswiderstand eines invertierenden Verstärkers zu nutzen. Da das Nutzsignal in diesem Fall aber sehr stark durch das Rauschen des Digitalen Potentiometers gestört wurde, mussten andere Möglichkeiten gesucht werden.

Die Lösung stellte ein variables Dämpfungsglied und ein Verstärker mit fester Verstärkung dar. Der AD603 ist ein variabler Verstärker, der nach diesem Prinzip arbeitet und die notwendigen Anforderungen erfüllte, sodass er als Verstärker für die Schaltung ausgewählt wurde.

DC Offset

Vergleich Schaltplan auf Seite 31.

Das Eingangssignal kann durch den vorhergehenden variablen Verstärker verschiedene Amplituden und Mittelwerte aufweisen. Der Grenzfall für die größte Amplitude stellt ein Signal mit U_{Spitze_Spitze} von 3V und einem Mittelwert von 1.5V dar. Wenn die Amplitude gegen ihr Minimum geht, nähern sich die Spitzenspannung, sowie der Mittelwert 0V an.

Es soll ein Offset von bis zu $\pm 7,5V$ einstellbar sein. Dafür wird die Spannung am nicht invertierenden Eingang des OPs von -0,812V und 2,15V verändert.

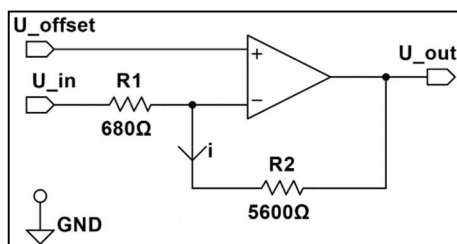


Abbildung 1

Zur Vereinfachung der Herleitung wird der Verstärker auf das Wesentliche reduziert. Dabei bezeichnet U_{out} die Ausgangsspannung, U_{offset} die einzustellende Spannung für ein gewünschtes Offset, U_{in} die Eingangsspannung des Nutzsignals, das vom variablen Verstärker bereitgestellt wird.

Zudem wird als Eingangsspannung nur der Gleichspannungsanteil des Signals betrachtet, da die Amplitude egal bei welchem Offset mit der dem Verstärkungsfaktor v verstärkt wird. Alle angegebenen Spannungen sind auf Masse bezogen, sofern nichts anderes angegeben ist. Die Eingangsströme und die Differenzspannung des Operationsverstärkers seien vernachlässigbar klein.

So ergibt sich für die Ausgangsspannung der Zusammenhang: $U_{out} = U_{offset} - i * R_2$

Der Strom, der durch R_2 und R_1 fließt, ist gleich und kann folglich über folgenden Zusammenhang bestimmt werden: $i = \frac{U_{in} - U_{offset}}{R_1}$.

Das führt durch einsetzen zu: $U_{out} = U_{offset} - (U_{in} - U_{offset}) * \frac{R_2}{R_1} = U_{offset} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - U_{in} * \frac{R_2}{R_1}$

Es ergeben sich vier Extremfälle aus den Anforderungen:

1. Die Ausgangsspannung muss bei jeder Mittelwertspannung zwischen $\pm 7,5V$ einstellbar sein.
2. Die Mittelwertspannung des variablen Verstärkers liegt zwischen 0V und 1,5V.

	$U_{in} = 0V$	$U_{in} = 1,5V$
$V_{out} \geq +7,5V$	$U_{offset} \geq +0,812V$	$U_{offset} \geq +2,15V$
$V_{out} \leq -7,5V$	$U_{offset} \leq -0,812V$	$U_{offset} \leq +0,525V$

Daraus ergibt sich aus dem größten und kleinsten Wert für U_{offset} der minimal einzustellende Bereich für U_{offset} von: $-0,812V \leq U_{offset} \leq 2,15V$.

Referenz und Steuerspannungen

Vergleich Schaltplan auf Seite 34.

Die Offsetspannung, die für den Operationsverstärker zum aufaddieren des Gleichstromanteils nötig ist, wird durch ein digitales Potentiometer eingestellt. Dieses lässt eine Einstellung zwischen ca. 0V und 5V zu, um den Spannungsbereich anzupassen wird die gleiche Schaltung verwendet, wie sie im Kapitel DC Offset beschrieben ist.

Durch die digitalen Potentiometer, werden ebenfalls die positive Steuerspannung für den variablen Verstärker und die Referenzspannung für die PWM kontrolliert. Beide Signale werden durch einen Spannungsteiler auf das richtige Spannungspotenzial gebracht.

Konstante Spannungen wie die Gleichspannung als wählbare „Signalform“ oder die negative Steuerspannung des variablen Verstärkers werden durch je einen Spannungsteiler realisiert.

Leiterplatte fertigen

Die Leiterplattenfertigung wurde für Prototypen mit der in der Ausbildungswerkstatt vorhandenen Leiterplattenfräse durchgeführt.

Der Leiterplattenrohling - eine kupferkaschierte FR4 Leiterplatte – wird durch die Gerberdaten des Layouts definiert, gefräst und gebohrt. Nach dem Fräsen wird die Leiterplatte mit einem Kunststofflack beschichtet, der ein Korrodieren der Leiterplatte verhindert.

Anschließend wird die Leiterplatte bestückt und die Bauteile nach Schaltplan angelötet. Die nun fertige Leiterplatte wird anschließend einer weiteren Sichtkontrolle unterzogen. Zudem werden wichtige Verbindungen oder Isolationen geprüft. Zum Beispiel auf Kurzschluss zwischen den Versorgungsklemmen.

Sind diese Tests bestanden und eventuelle Fehler ausgebessert, kann die Leiterplatte auf Ihre Funktion getestet werden.

Die Leiterplatten, die nicht für Prototypen gefertigt wurden, wurden von einem externen Anbieter zugekauft, da diese dann über einen zusätzlichen Lötstopplack verfügen.

Herausforderungen und Lösungen

Bei der Berechnung der Verstärker zum einbringen des Offsets und zum bereitstellen des Gleichspannungssignals ist bei der Berechnung ein unbemerkter Vorzeichenfehler aufgetreten, dadurch wurde eine falsche Referenzspannung für „K10B“ errechnet und im Layout angeschlossen. Zur Korrektur wird eine Adapterplatine verwendet, die auf das PCB aufgelötet wird und einen Sockel für den Operationsverstärker bietet. Die angeschlossene Spannung, die am OP anliegt, wird so korrigiert.

Bei den Relais, die wie ein Multiplexer genutzt werden, ist ein Fehler am Footprint des Bauteils aufgetreten. Die Pins, an die die Steuerspannung angeschlossen wird, wurden vertauscht. Das Relais schält nun beim bestromen nicht. Die Steuerspannung zum Durchschalten der Relais wird durch das Layout verpolt angeschlossen. Auch hier wird zur Lösung eine Adapterplatine auf das PCB gelötet, die die Steueranschlüsse tauscht und so die Relais richtig betreibt.

Inbetriebnahme Anleitung

Um die Signalgenerierung nutzen zu können müssen einmalig bei der ersten Inbetriebnahme einige Einstellungen vorgenommen werden.

1. Stecken des Jumpers J1, wenn eine Verbindung der Analogen und Digitalen Masse gewünscht wird. Der Jumper ist standardmäßig gesteckt.
2. Jumper J2 stecken, falls das Synchronisationsmodul nicht verwendet wird.
3. Oszilloskop an Jumper J3 anschließen, um Ausgangsspannung des AD603 zu messen.
4. Signalgenerierung mit dem Raspberry Pi auf 1000Hz Sinus bei maximaler Amplitude stellen.
5. Durch drehen am Potentiometer R4 die maximale Spannung auf $3V \pm 0,03V$ einstellen.
6. Jumper J4 bleibt offen. (Überbrücken des Einstellpotis für den Verstärkungsbereich des variablen Verstärkers)
7. Jumper J3 stecken. (Verbinden des variablen Verstärkers mit dem „Offset Verstärker“)
8. Jumper J5 stecken. (Überbrücken des 470Ohm Ausgangswiderstandes)
9. Durch Drehen an R9 eine Spannung von $-1,44V \pm 0,03V$ am Pin 15 von K4 einstellen.
10. Das Sägezahn Signal an Pin 6 von K5 mit einem Oszilloskop messen und durch Drehen an R10 dessen Minimalspannung auf $0V + 0,05V$ einstellen.
11. Das Signal an Pin 6 von K7 mit einem Oszilloskop messen und durch drehen des Potentiometers R11 eine Amplitude von $180mV \pm 5mV$ einstellen.
12. Messgeräte entfernen.

Kontrollphase

Es wurden während des Projekts immer wieder Tests und Versuche durchgeführt, um die Funktionalität der Signalgenerierung sicherzustellen. Hier sollen nur aber die Prüfung der Erfüllung aller Anforderung bei Abschluss des Projekts diskutiert werden.

VDE-Prüfung

Da die Signalgenerierung nicht ohne den gesamten Funktionsgenerator geprüft werden kann, wird die Prüfung am komplett fertiggestellten Funktionsgenerator durchgeführt. (siehe Prüfprotokoll auf Seite 41.

Erfüllung der Anforderungen

Die Anforderungen an die Signalgenerierung des Funktionsgenerators werden erfüllt:

Anforderung	Status
Signalerzeugung durch DDS Prinzip	Erfüllt.
Digitale Steuerung der Hardware	Erfüllt.
Amplitude bis min 10V	Erfüllt.
Einstellbarer Offset	Erfüllt.
Sinus, Rechteck, Dreieck bis 1MHz	Erfüllt.
PWM mit wählbarem Logikpegel	Erfüllt.
Sägezahnspannung steigend und fallend	Erfüllt.

Anlagen

Zeitplan

Arbeitsabschnitt	Geplante Zeit	Benötigte Zeit
1. Informationsphase	3	2,5
1.1. Anforderungen ausarbeiten	1	0,5
1.2. Schnittstellen definieren	0,5	0,5
1.3. Analyse von Datenblättern und Schaltungskonzepten	1,5	1,5
2. Planungsphase	4	4
2.1. Zeitplan erstellen	0,5	0,5
2.2. Schaltungsarchitektur entwickeln	2,5	2,5
2.3. Blockschaltbild erstellen	1	1
3. Durchführungsphase	10	10,5
3.1. Schaltplan entsprechend Blockschaltbild entwickeln	3	3,25
3.2. Leiterplattenlayout anfertigen	2	2,5
3.3. Leiterplatte fräsen, bestücken und prüfen	2	2
3.4. Funktionalität der Schaltung prüfen	1	0,75
3.5. Anleitung zur Inbetriebnahme schreiben	0,5	0,5
3.6. Projektdokumentation schreiben	1,5	1,5
4. Kontrollphase	3	3
4.1. Sicht- und Funktionsprüfung	1,5	1,5
4.2. Anforderungsprüfung	1	1
4.3. VDE-Prüfung des gesamten Funktionsgenerators	0,5	0,5
Gesamt	20	20

Datenblattauszüge

Aufgrund der großen Menge an Informationen aus verschiedenen Datenblättern wurden nur einige kurze Auszüge aus den wichtigsten Datenblättern in dieser Dokumentation eingefügt, um die Lesbarkeit zu erhöhen.

AD9833



Low Power, 12.65 mW, 2.3 V to 5.5 V, Programmable Waveform Generator

Data Sheet

AD9833

FEATURES

- Digitally programmable frequency and phase
- 12.65 mW power consumption at 3 V
- 0 MHz to 12.5 MHz output frequency range
- 28-bit resolution: 0.1 Hz at 25 MHz reference clock
- Sinusoidal, triangular, and square wave outputs
- 2.3 V to 5.5 V power supply
- No external components required
- 3-wire SPI interface
- Extended temperature range: -40°C to $+105^{\circ}\text{C}$
- Power-down option
- 10-lead MSOP package
- AEC-Q100 qualified for automotive applications

APPLICATIONS

- Frequency stimulus/waveform generation
- Liquid and gas flow measurement
- Sensory applications: proximity, motion, and defect detection
- Line loss/attenuation
- Test and medical equipment
- Sweep/clock generators
- Time domain reflectometry (TDR) applications

GENERAL DESCRIPTION

The AD9833 is a low power, programmable waveform generator capable of producing sine, triangular, and square wave outputs. Waveform generation is required in various types of sensing, actuation, and time domain reflectometry (TDR) applications. The output frequency and phase are software programmable, allowing easy tuning. No external components are needed. The frequency registers are 28 bits wide: with a 25 MHz clock rate, resolution of 0.1 Hz can be achieved; with a 1 MHz clock rate, the AD9833 can be tuned to 0.004 Hz resolution.

The AD9833 is written to via a 3-wire serial interface. This serial interface operates at clock rates up to 40 MHz and is compatible with DSP and microcontroller standards. The device operates with a power supply from 2.3 V to 5.5 V.

The AD9833 has a power-down function (SLEEP). This function allows sections of the device that are not being used to be powered down, thus minimizing the current consumption of the part. For example, the DAC can be powered down when a clock output is being generated.

The AD9833 is available in a 10-lead MSOP package.

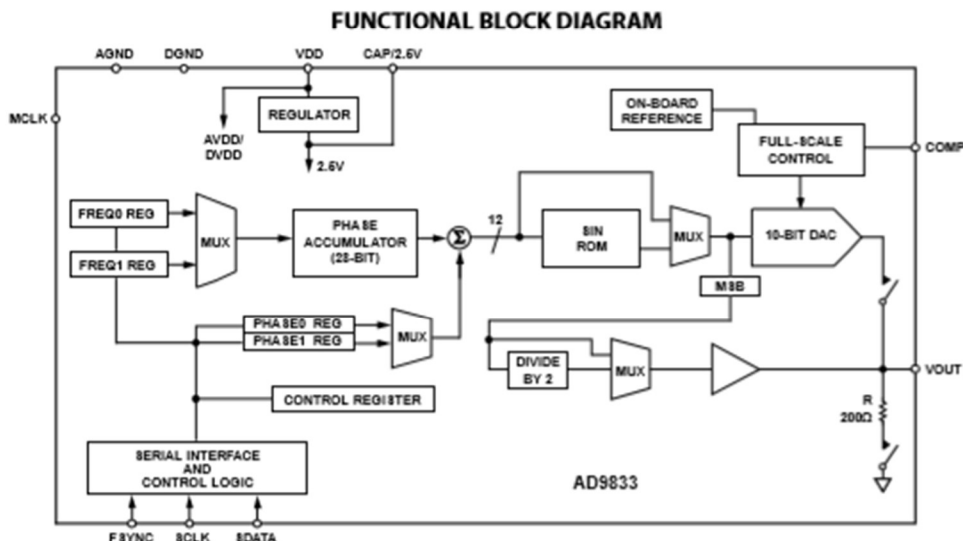


Figure 1.

Abbildung 2

SPECIFICATIONS

VDD = 2.3 V to 5.5 V, AGND = DGND = 0 V, TA = TMIN to TMAX, RSHT = 6.8 kΩ for VOUT, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ¹	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions/Comments
SIGNAL DAC SPECIFICATIONS					
Resolution		10		Bits	
Update Rate			25	MSPS	
VOUT Maximum		0.65		V	
VOUT Minimum		38		mV	
VOUT Temperature Coefficient		200		ppm/°C	
DC Accuracy					
Integral Nonlinearity		±1.0		LSB	
Differential Nonlinearity		±0.5		LSB	
DDS SPECIFICATIONS (SFDR)					
Dynamic Specifications					
Signal-to-Noise Ratio (SNR)	55	60		dB	AD9833BRMZ, fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/4096
	54	60		dB	AD9833WBRMZ-REEL, fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/4096
Total Harmonic Distortion (THD)		-66	-56	dBc	AD9833BRMZ, fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/4096
		-66	-55	dBc	AD9833WBRMZ-REEL, fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/4096
Spurious-Free Dynamic Range (SFDR)					
Wideband (0 to Nyquist)		-60		dBc	fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/50
Narrow-Band (±200 kHz)		-78		dBc	fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/50
Clock Feedthrough		-60		dBc	
Wake-Up Time		1		ms	
LOGIC INPUTS					
Input High Voltage, VIH	1.7			V	2.3 V to 2.7 V power supply
	2.0			V	2.7 V to 3.6 V power supply
	2.8			V	4.5 V to 5.5 V power supply
Input Low Voltage, VIL			0.5	V	2.3 V to 2.7 V power supply
			0.7	V	2.7 V to 3.6 V power supply
			0.8	V	4.5 V to 5.5 V power supply
Input Current, IIN1/IIN2			10	μA	
Input Capacitance, CIN		3		pF	
POWER SUPPLIES					
VDD	2.3		5.5	V	fMCLK = 25 MHz, fOUT = fMCLK/4096
I _{DD}		4.5	5.5	mA	I _{DD} code dependent; see Figure 7
Low Power Sleep Mode		0.5		mA	DAC powered down, MCLK running

¹ Operating temperature range is -40°C to +105°C; typical specifications are at +25°C.

Abbildung 3

THEORY OF OPERATION

Sine waves are typically thought of in terms of their magnitude form: $a(t) = \sin(\omega t)$. However, these sine waves are nonlinear and not easy to generate except through piecewise construction. On the other hand, the angular information is linear in nature. That is, the phase angle rotates through a fixed angle for each unit of time. The angular rate depends on the frequency of the signal by the traditional rate of $\omega = 2\pi f$.

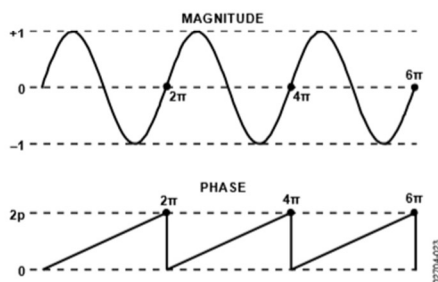


Figure 23. Sine Wave

Abbildung 4

Knowing that the phase of a sine wave is linear and given a reference interval (clock period), the phase rotation for that period can be determined.

$$\Delta\text{Phase} = \omega \Delta t$$

Solving for ω ,

$$\omega = \Delta\text{Phase} / \Delta t = 2\pi f$$

Solving for f and substituting the reference clock frequency for the reference period ($1/f_{\text{MCLK}} = \Delta t$)

$$f = \Delta\text{Phase} \times f_{\text{MCLK}} / 2\pi$$

The AD9833 builds the output based on this simple equation. A simple DDS chip can implement this equation with three major subcircuits: numerically controlled oscillator (NCO) and phase modulator, SIN ROM, and digital-to-analog converter (DAC).

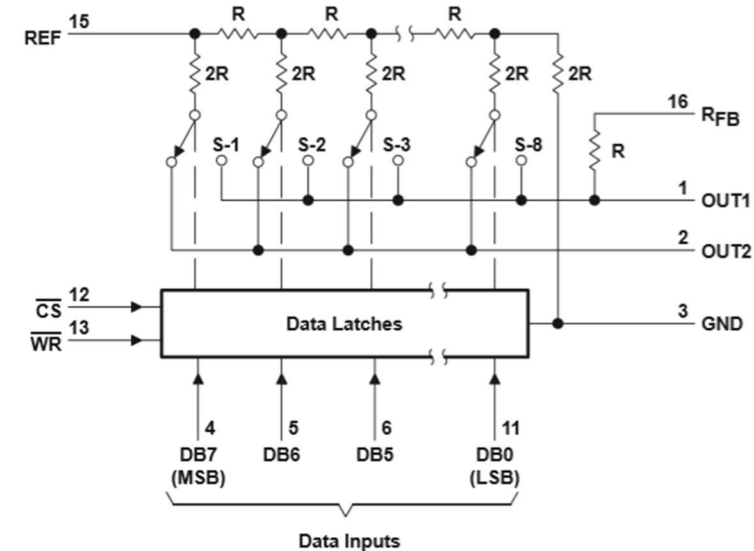
Each subcircuit is described in the Circuit Description section.

TLC7524

TLC7524C, TLC7524E, TLC7524I
8-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS

SLAS061D - SEPTEMBER 1986 - REVISED JUNE 2007

functional block diagram



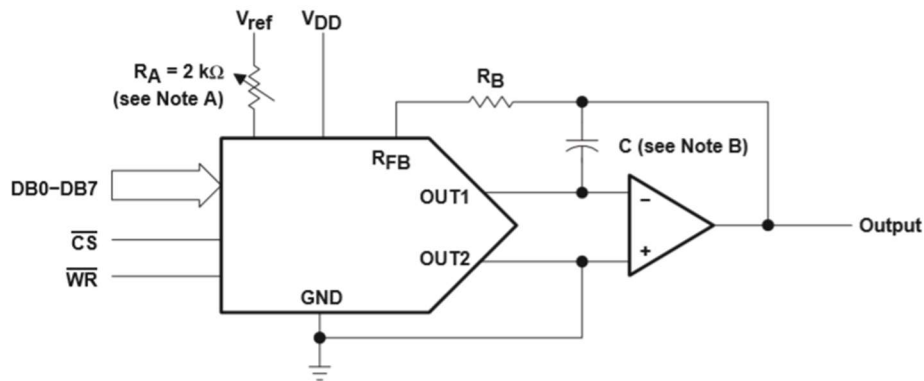
Terminal numbers shown are for the D or N package.

Abbildung 5

TLC7524C, TLC7524E, TLC7524I
8-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS

SLAS061D - SEPTEMBER 1986 - REVISED JUNE 2007

PRINCIPLES OF OPERATION



- NOTES: A. R_A and R_B used only if gain adjustment is required.
 B. C phase compensation (10-15 pF) is required when using high-speed amplifiers to prevent ringing or oscillation.

Abbildung 6

AD603



Low Noise, 90 MHz Variable Gain Amplifier

Data Sheet

AD603

FEATURES

- Linear-in-dB gain control**
- Pin-programmable gain ranges**
 - 11 dB to +31 dB with 90 MHz bandwidth
 - 9 dB to 51 dB with 9 MHz bandwidth
- Any intermediate range, for example -1 dB to +41 dB with 30 MHz bandwidth**
- Bandwidth independent of variable gain**
- 1.3 nV/√Hz input noise spectral density**
- ±0.5 dB typical gain accuracy**

APPLICATIONS

- RF/IF AGC amplifiers
- Video gain controls
- A/D range extensions
- Signal measurements

GENERAL DESCRIPTION

The AD603 is a low noise, voltage-controlled amplifier for use in RF and IF AGC systems. It provides accurate, pin-selectable gains of -11 dB to +31 dB with a bandwidth of 90 MHz or +9 dB to 51+ dB with a bandwidth of 9 MHz. Any intermediate gain range may be arranged using one external resistor. The input referred noise spectral density is only 1.3 nV/√Hz, and power consumption is 125 mW at the recommended ±5 V supplies.

The decibel gain is linear in dB, accurately calibrated, and stable over temperature and supply. The gain is controlled at a high impedance (50 MΩ), low bias (200 nA) differential input; the scaling is 25 mV/dB, requiring a gain control voltage of only 1 V to span the central 40 dB of the gain range. An overrange and underrange of 1 dB is provided whatever the selected range. The gain control response time is less than 1 μs for a 40 dB change.

The differential gain control interface allows the use of either differential or single-ended positive or negative control voltages. Several of these amplifiers may be cascaded and their gain control gains offset to optimize the system SNR.

The AD603 can drive a load impedance as low as 100 Ω with low distortion. For a 500 Ω load in shunt with 5 pF, the total harmonic distortion for a ±1 V sinusoidal output at 10 MHz is typically -60 dBc. The peak specified output is ±2.5 V minimum into a 500 Ω load.

The AD603 uses a patented proprietary circuit topology—the X-AMP®. The X-AMP comprises a variable attenuator of 0 dB to -42.14 dB followed by a fixed-gain amplifier. Because of the attenuator, the amplifier never has to cope with large inputs and can use negative feedback to define its (fixed) gain and dynamic performance. The attenuator has an input resistance of 100 Ω, laser trimmed to ±3%, and comprises a 7-stage R-2R ladder network, resulting in an attenuation between tap points of 6.021 dB. A proprietary interpolation technique provides a continuous gain control function that is linear in dB.

The AD603 is specified for operation from -40°C to +85°C.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

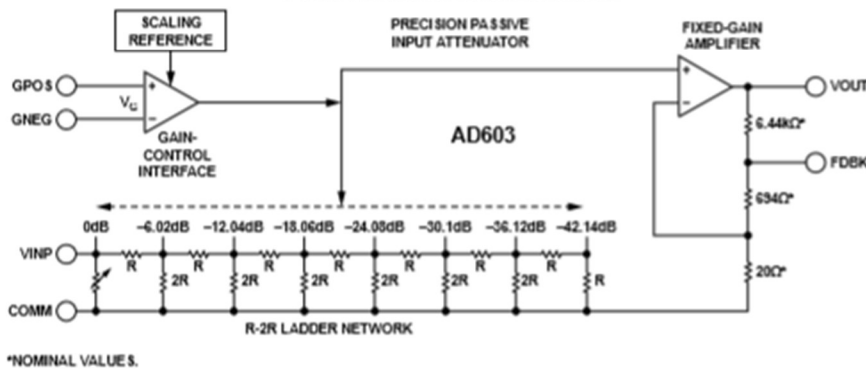


Figure 1.

Abbildung 7

Data Sheet

AD603

SPECIFICATIONS

@ $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 5\text{ V}$, $-500\text{ mV} \leq V_G \leq +500\text{ mV}$, $\text{GNEG} = 0\text{ V}$, -10 dB to $+30\text{ dB}$ gain range, $R_L = 500\ \Omega$, and $C_L = 5\text{ pF}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS					
Input Resistance	Pin 3 to Pin 4	97	100	103	Ω
Input Capacitance			2		pF
Input Noise Spectral Density ¹	Input short-circuited		1.3		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Noise Figure	$f = 10\text{ MHz}$, gain = maximum, $R_S = 10\ \Omega$		8.8		dB
1 dB Compression Point	$f = 10\text{ MHz}$, gain = maximum, $R_S = 10\ \Omega$		-11		dBm
Peak Input Voltage			± 1.4	± 2	V
OUTPUT CHARACTERISTICS					
-3 dB Bandwidth	$V_{\text{OUT}} = 100\text{ mV rms}$ $R_L \geq 500\ \Omega$		90		MHz
Slew Rate	$R_L \geq 500\ \Omega$		275		V/ μs
Peak Output ²	$R_L \geq 500\ \Omega$	± 2.5	± 3.0		V
Output Impedance	$f \leq 10\text{ MHz}$		2		Ω
Output Short-Circuit Current			50		mA
Group Delay Change vs. Gain	$f = 3\text{ MHz}$; full gain range		± 2		ns
Group Delay Change vs. Frequency	$V_G = 0\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$ to 10 MHz		± 2		ns
Differential Gain			0.2		%
Differential Phase			0.2		Degree
Total Harmonic Distortion	$f = 10\text{ MHz}$, $V_{\text{OUT}} = 1\text{ V rms}$		-60		dBc
Third-Order Intercept	$f = 40\text{ MHz}$, gain = maximum, $R_S = 50\ \Omega$		15		dBm
ACCURACY					
Gain Accuracy, $f = 100\text{ kHz}$; Gain (dB) = $(40 V_G + 10)\text{ dB}$	$-500\text{ mV} \leq V_G \leq +500\text{ mV}$	-1	± 0.5	+1	dB
T_{MIN} to T_{MAX}		-1.5		+1.5	dB
Gain, $f = 10.7\text{ MHz}$	$V_G = -0.5\text{ V}$	-10.3	-9.0	-8.0	dB
	$V_G = 0.0\text{ V}$	+9.5	+10.5	+11.5	dB
	$V_G = 0.5\text{ V}$	+29.3	+30.3	+31.3	dB
Output Offset Voltage ³	$V_G = 0\text{ V}$			20	mV
T_{MIN} to T_{MAX}				30	mV
Output Offset Variation vs. V_G	$-500\text{ mV} \leq V_G \leq +500\text{ mV}$			20	mV
T_{MIN} to T_{MAX}				30	mV
GAIN CONTROL INTERFACE					
Gain Scaling Factor	100 kHz	39.4	40	40.6	dB/V
T_{MIN} to T_{MAX}		38		42	dB/V
	10.7 MHz	38.7	39.3	39.9	dB/V
GNEG, GPOS Voltage Range ⁴		-1.2		+2.0	V
Input Bias Current		50	100	250	nA
Input Offset Current			10		nA
Differential Input Resistance	Pin 1 to Pin 2		50		M Ω
Response Rate	Full 40 dB gain change		80		dB/ μs
POWER SUPPLY					
Specified Operating Range		± 4.75		± 6.3	V
Quiescent Current			12.5	17	mA
T_{MIN} to T_{MAX}				20	mA

¹ Typical open or short-circuited input; noise is lower when system is set to maximum gain and input is short-circuited. This figure includes the effects of both voltage and current noise sources.

² Using resistive loads of $500\ \Omega$ or greater or with the addition of a $1\text{ k}\Omega$ pull-down resistor when driving lower loads.

³ The dc gain of the main amplifier in the AD603 is $\times 35.7$; therefore, an input offset of $100\ \mu\text{V}$ becomes a 3.57 mV output offset.

⁴ GNEG and GPOS, gain control, and voltage range are guaranteed to be within the range of $-V_S + 4.2\text{ V}$ to $+V_S - 3.4\text{ V}$ over the full temperature range of -40°C to $+85^\circ\text{C}$.

Abbildung 8

MCP4261

MICROCHIP MCP414X/416X/424X/426X

7/8-Bit Single/Dual SPI Digital POT with Non-Volatile Memory

Features

- Single or Dual Resistor Network options
- Potentiometer or Rheostat configuration options
- Resistor Network Resolution
 - 7-bit: 128 Resistors (129 Steps)
 - 8-bit: 256 Resistors (257 Steps)
- R_{AS} Resistances options of:
 - 5 k Ω
 - 10 k Ω
 - 50 k Ω
 - 100 k Ω
- Zero-Scale to Full-Scale Wiper operation
- Low Wiper Resistance: 75 Ω (typical)
- Low Tempco:
 - Absolute (Rheostat): 50 ppm typical (0°C to 70°C)
 - Ratio-metric (Potentiometer): 15 ppm typical
- Non-volatile Memory
 - Automatic Recall of Saved Wiper Setting
 - WiperLock™ Technology
- SPI serial interface (10 MHz, modes 0,0 & 1,1)
 - High-Speed Read/Writes to wiper registers
 - Read/Write to Data EEPROM registers
 - Serially enabled EEPROM write protect
 - SDI/SDO multiplexing (MCP41X1 only)
- Resistor Network Terminal Disconnect Feature via:
 - Shutdown pin (SHDN)
 - Terminal Control (TCON) Register
- Write Protect Feature:
 - Hardware Write Protect (WP) Control pin
 - Software Write Protect (WP) Configuration bit
- Brown-out reset protection (1.5V typical)
- Serial Interface Inactive current (2.5 uA typical)
- High-Voltage Tolerant Digital Inputs: Up to 12.5V
- Supports Split Rail Applications
- Internal weak pull-up on all digital inputs
- Wide Operating Voltage:
 - 2.7V to 5.5V - Device Characteristics Specified
 - 1.8V to 5.5V - Device Operation
- Wide Bandwidth (-3dB) Operation:
 - 2 MHz (typical) for 5.0 k Ω device
- Extended temperature range (-40°C to +125°C)

Description

The MCP41XX and MCP42XX devices offer a wide range of product offerings using an SPI interface. WiperLock Technology allows application-specific calibration settings to be secured in the EEPROM.

Package Types (top view)

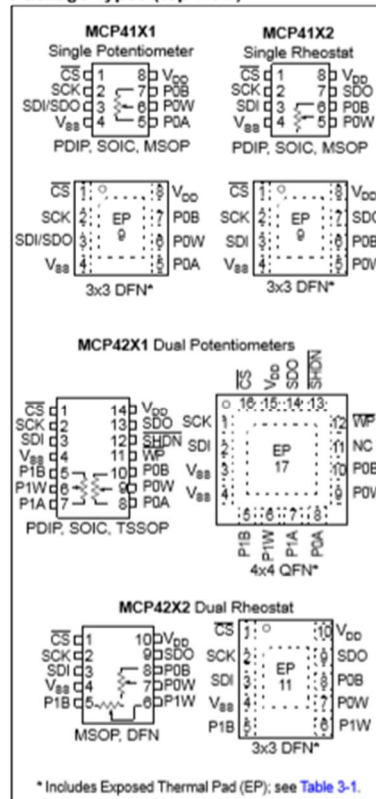


Abbildung 9

MCP414X/416X/424X/426X

Device Block Diagram

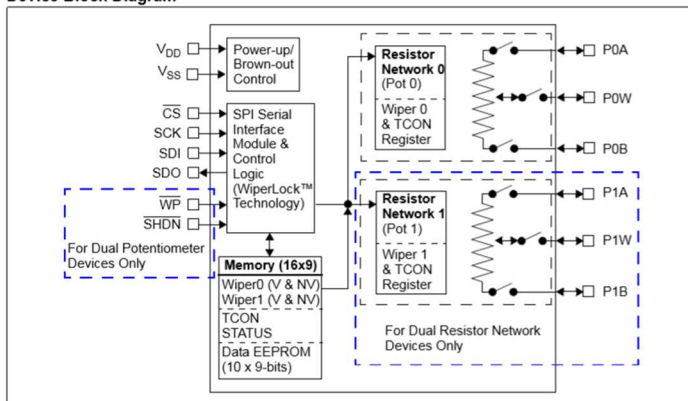


Abbildung 10

BC547



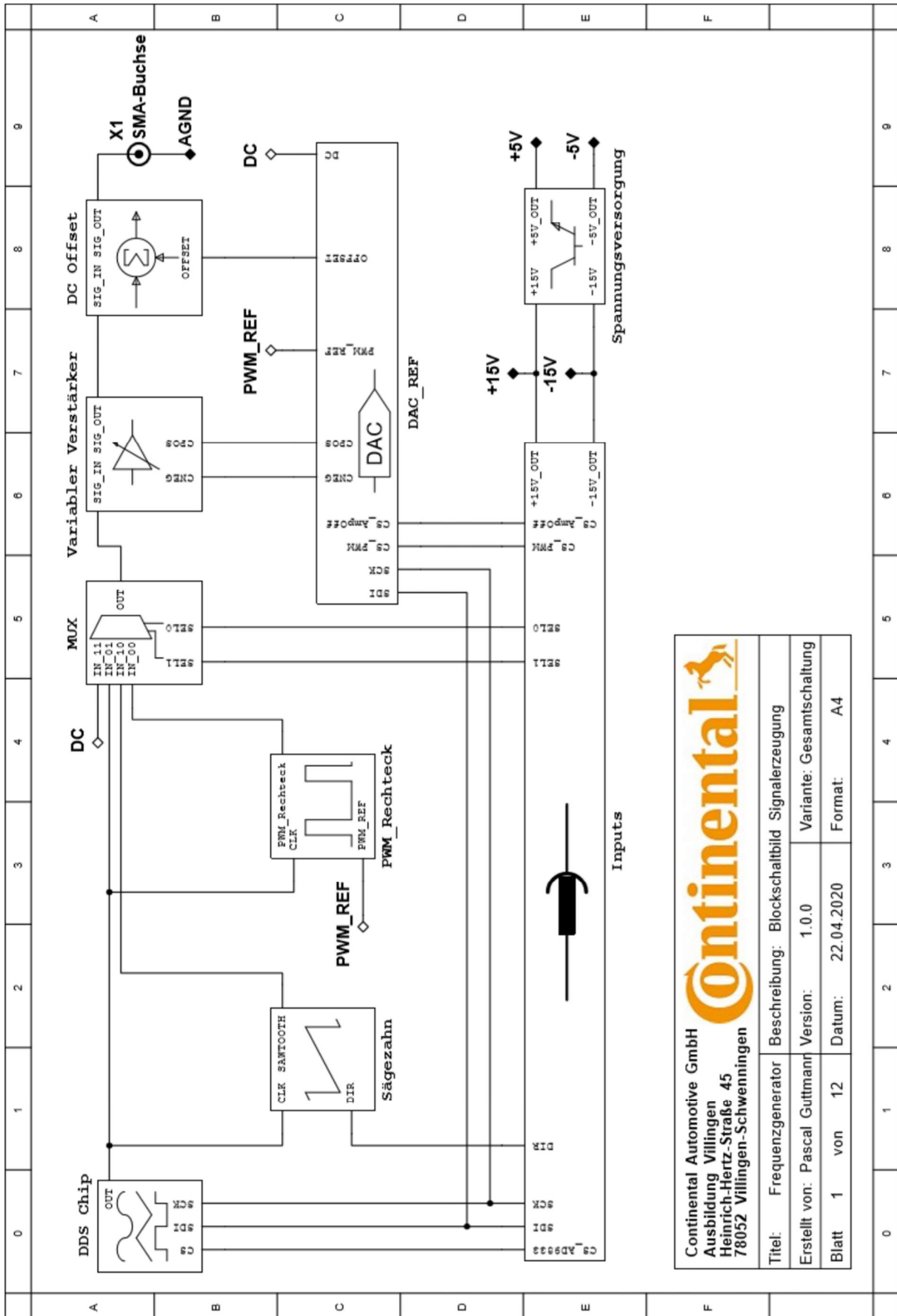
						
BC546/547/548/549/550						
Switching and Applications <ul style="list-style-type: none"> • High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$ • Low Noise: BC549, BC550 • Complement to BC556 ... BC560 						
						
TO-92 1. Collector 2. Base 3. Emitter						
NPN Epitaxial Silicon Transistor						
Absolute Maximum Ratings $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Value	Units			
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V			
	: BC547/550	50	V			
	: BC548/549	30	V			
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V			
	: BC547/550	45	V			
	: BC548/549	30	V			
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V			
	: BC548/549/550	5	V			
I_C	Collector Current (DC)	100	mA			
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW			
T_J	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$			
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^{\circ}C$			
Electrical Characteristics $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure : BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$	1.4	3	dB
h_{FE} Classification						
Classification	A	B	C			
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800			

Abbildung 11

Schaltplan

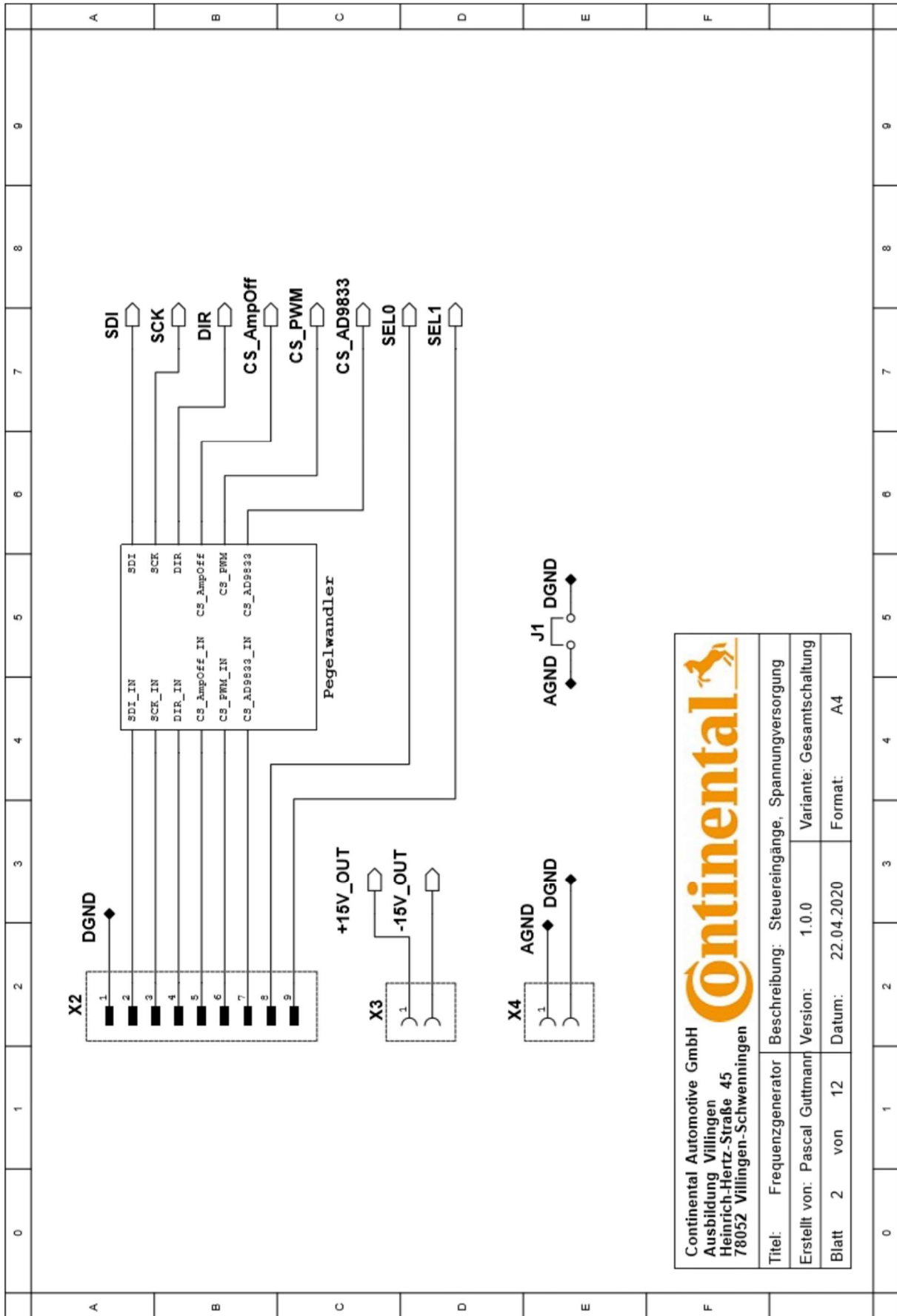


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strabe 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator	Beschreibung:	Blockschaltbild Signalerzeugung
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt 1 von 12	Datum:	22.04.2020	Variante: Gesamtschaltung
			Format: A4

Abbildung 12



Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strabe 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator		
Beschreibung:	Steuereingänge, Spannungsversorgung		
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt	2 von 12	Datum:	22.04.2020
		Format:	A4

Abbildung 13

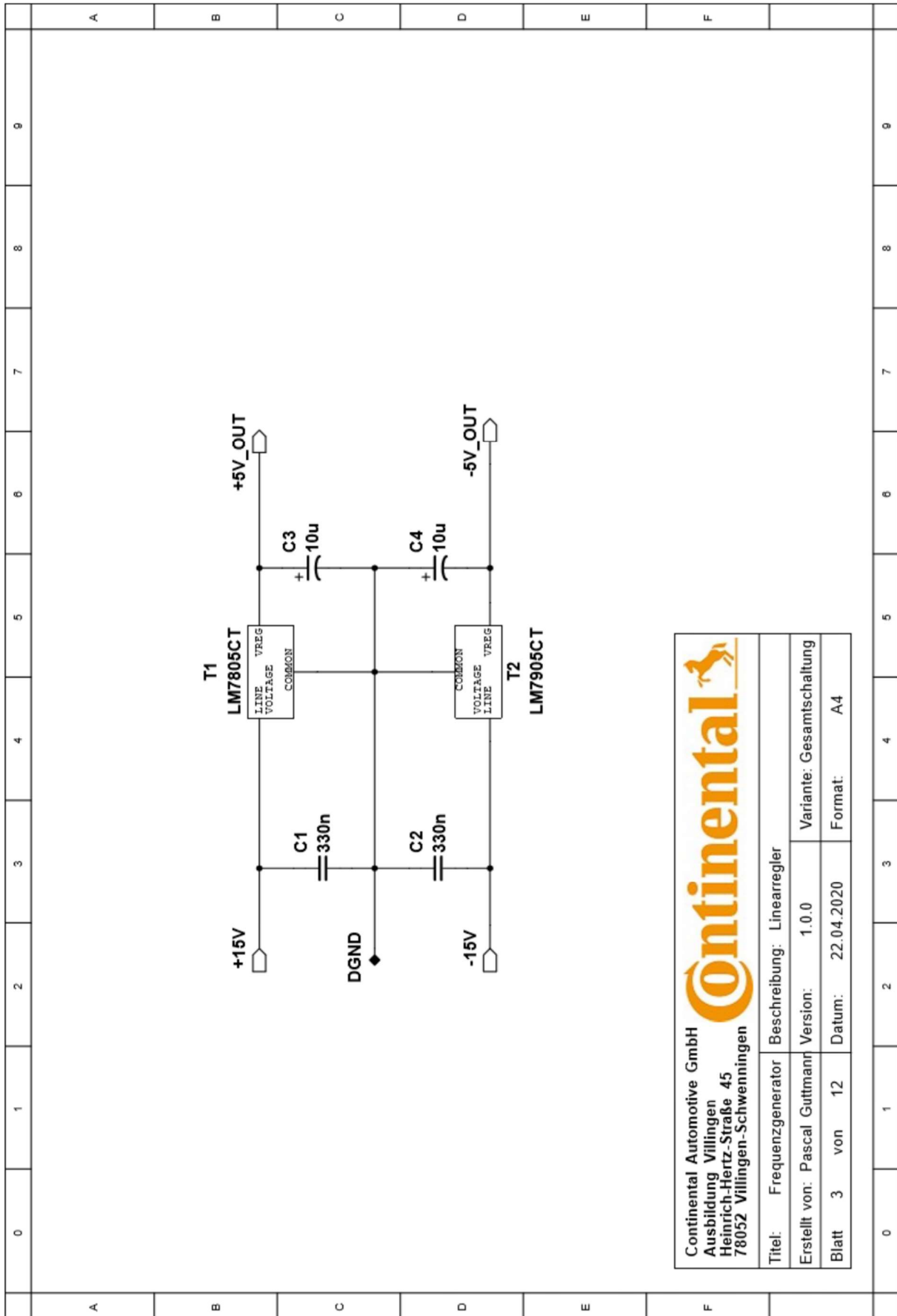
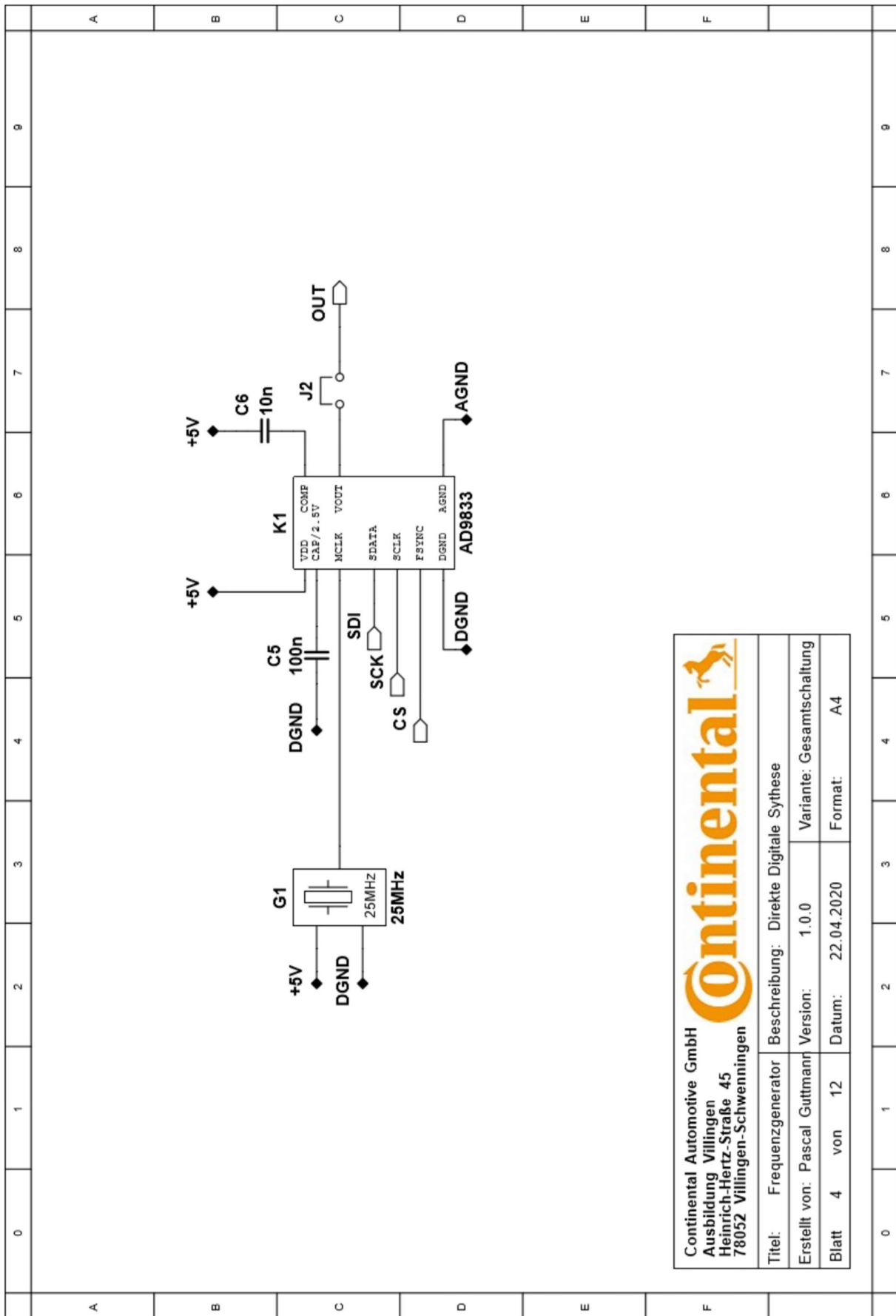


Abbildung 14

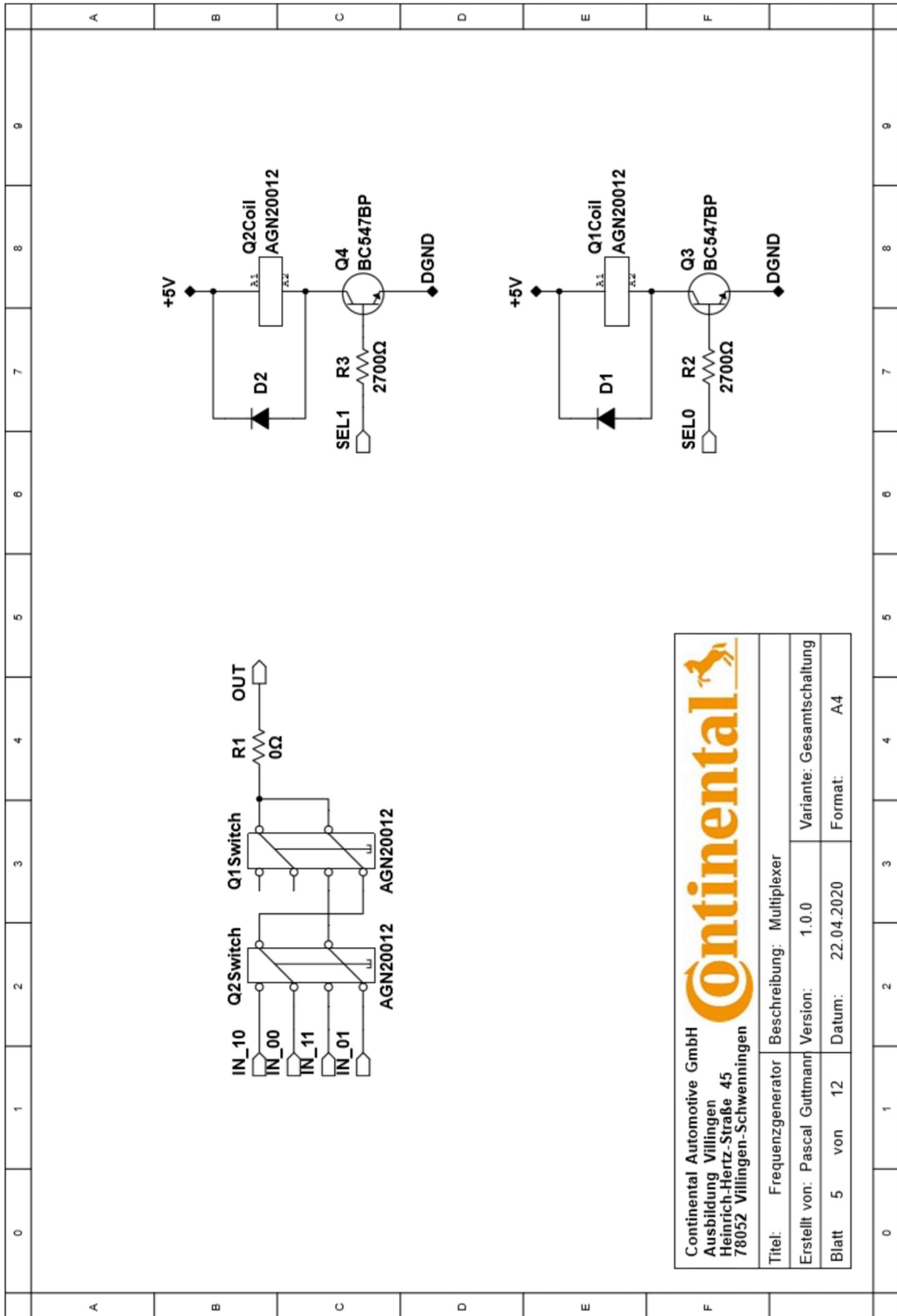


Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Continental

Titel:	Frequenzgenerator	Beschreibung:	Direkte Digitale Synthese
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt	4 von 12	Datum:	22.04.2020
		Format:	A4

Abbildung 15

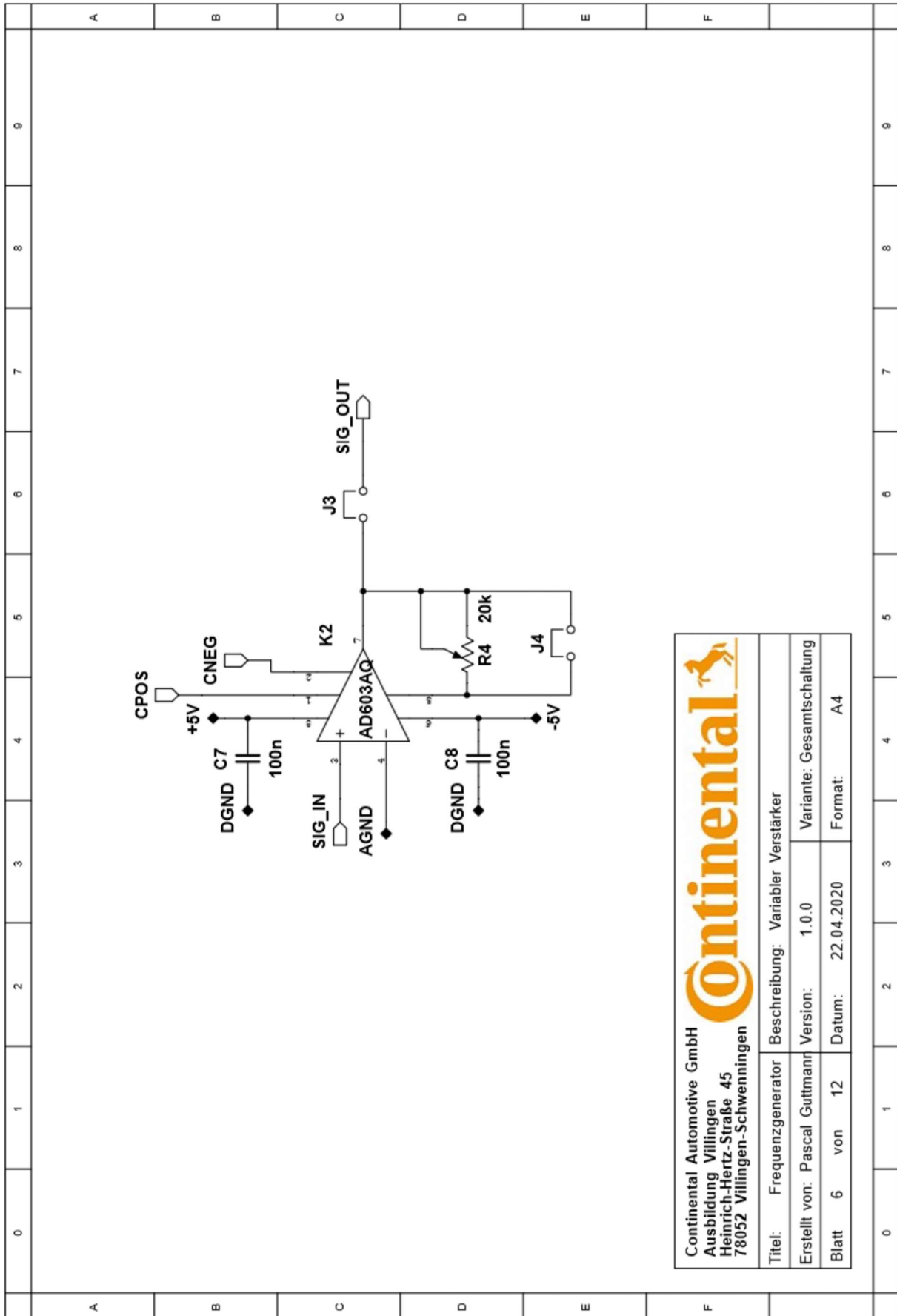


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel: Frequenzgenerator		Beschreibung: Multiplexer	
Erstellt von: Pascal Guttmann	Version: 1.0.0	Variante: Gesamtschaltung	
Blatt 5 von 12	Datum: 22.04.2020	Format: A4	

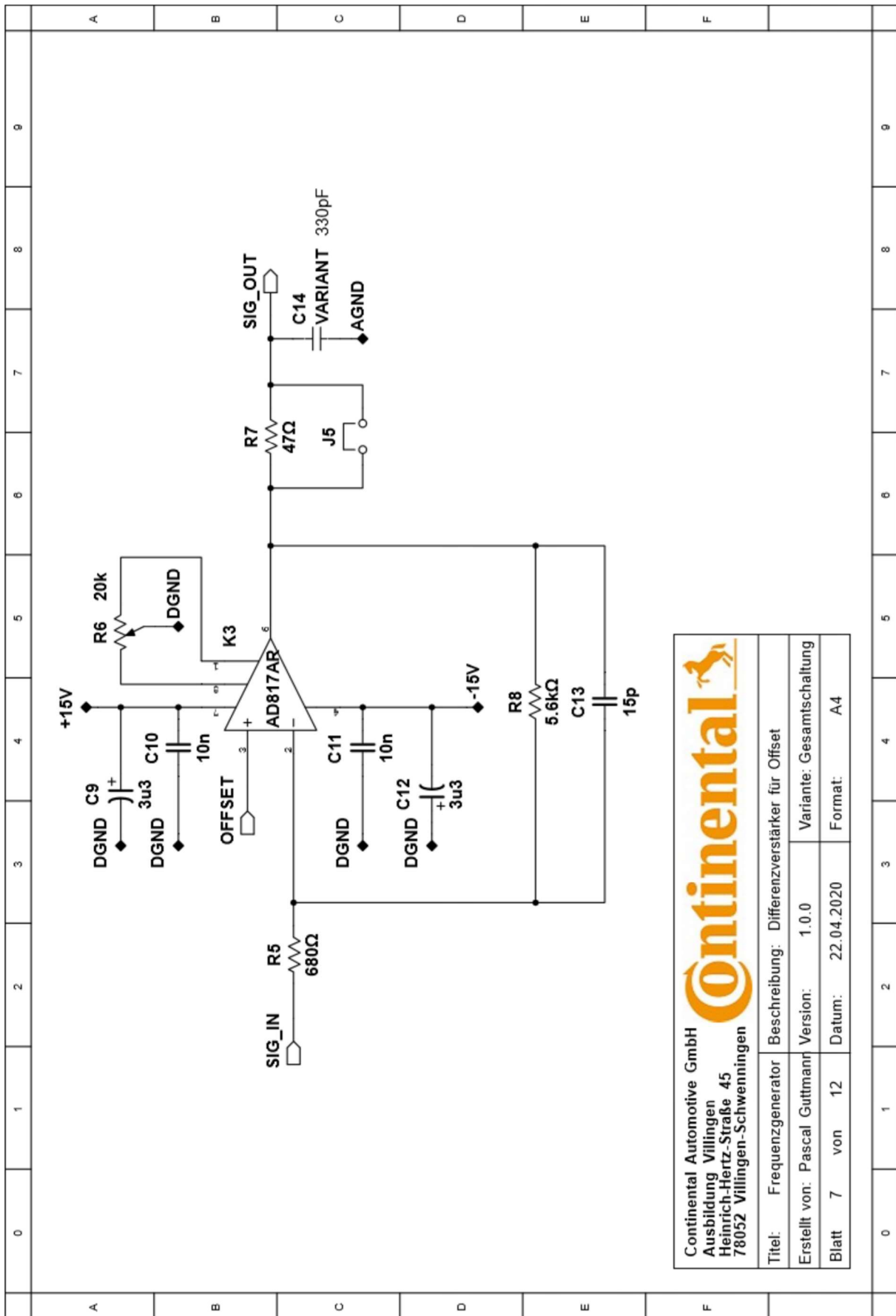
Abbildung 16



Continental
 Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel: Frequenzgenerator		Beschreibung: Variabler Verstärker	
Erstellt von: Pascal Guttmann	Version: 1.0.0	Variante: Gesamtschaltung	
Blatt 6 von 12	Datum: 22.04.2020	Format: A4	

Abbildung 17

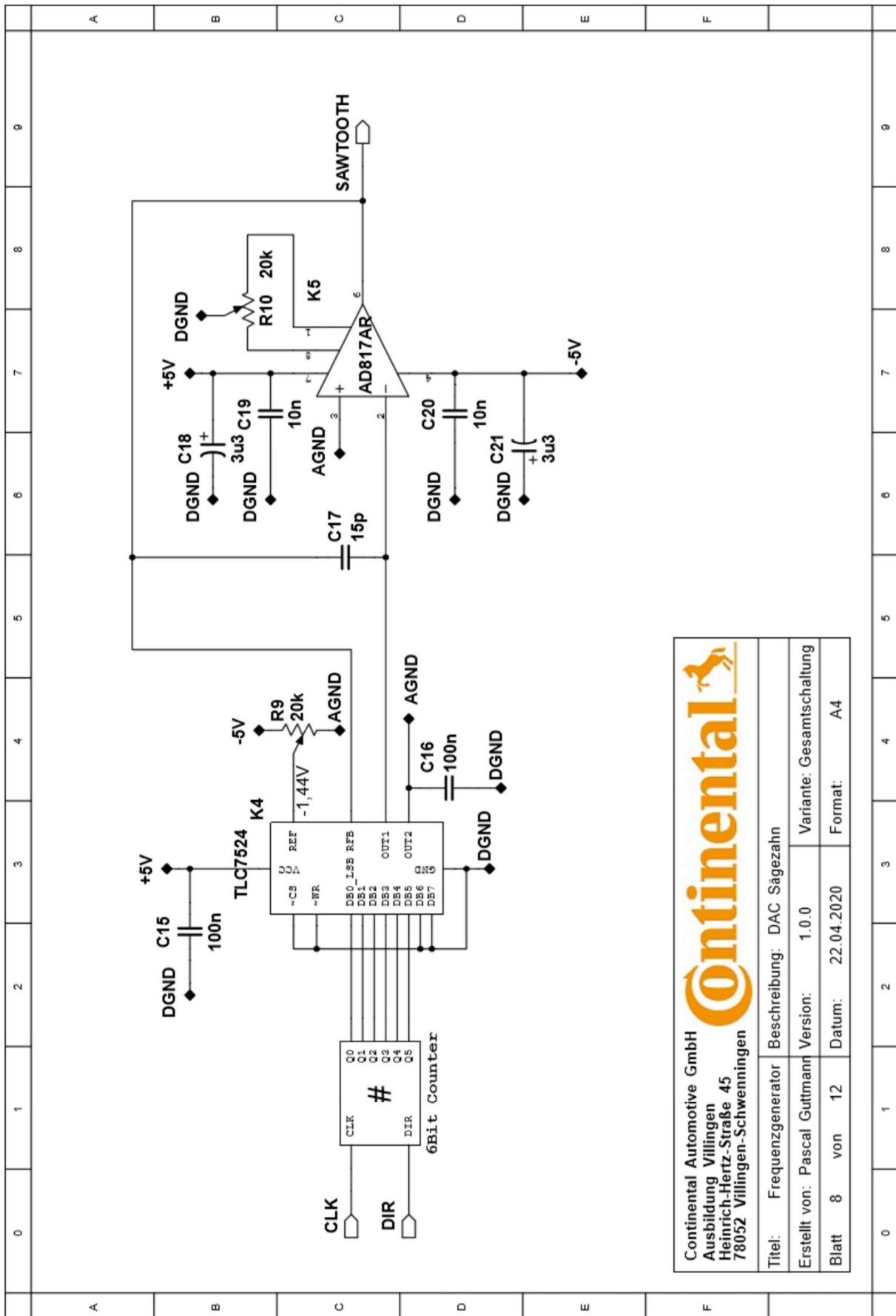


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator		
Beschreibung:	Differenzverstärker für Offset		
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt	7 von 12	Datum:	22.04.2020
		Format:	A4

Abbildung 18

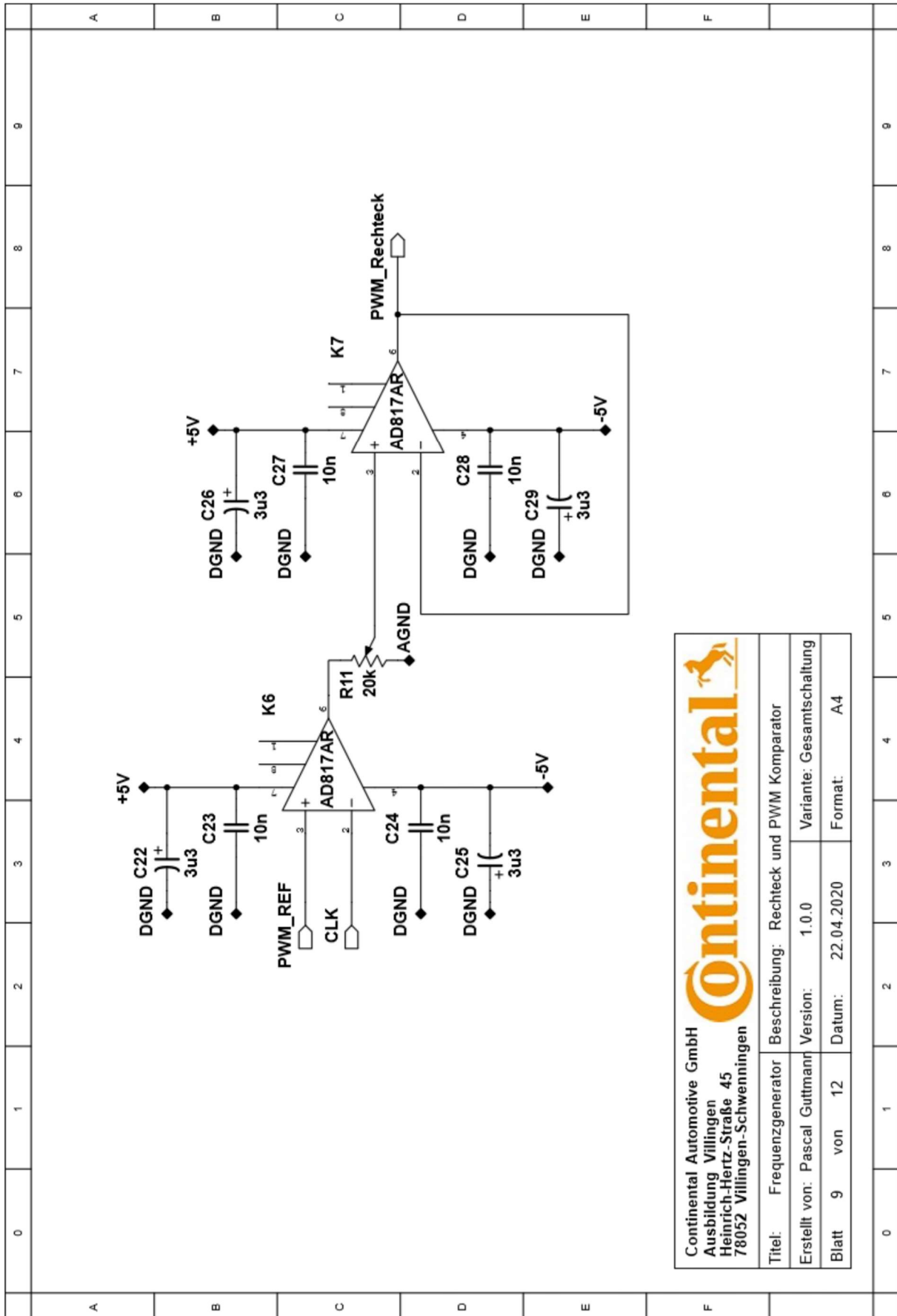


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator	Beschreibung:	DAC Sägezahn
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt	8 von 12	Datum:	22.04.2020
		Format:	A4

Abbildung 19

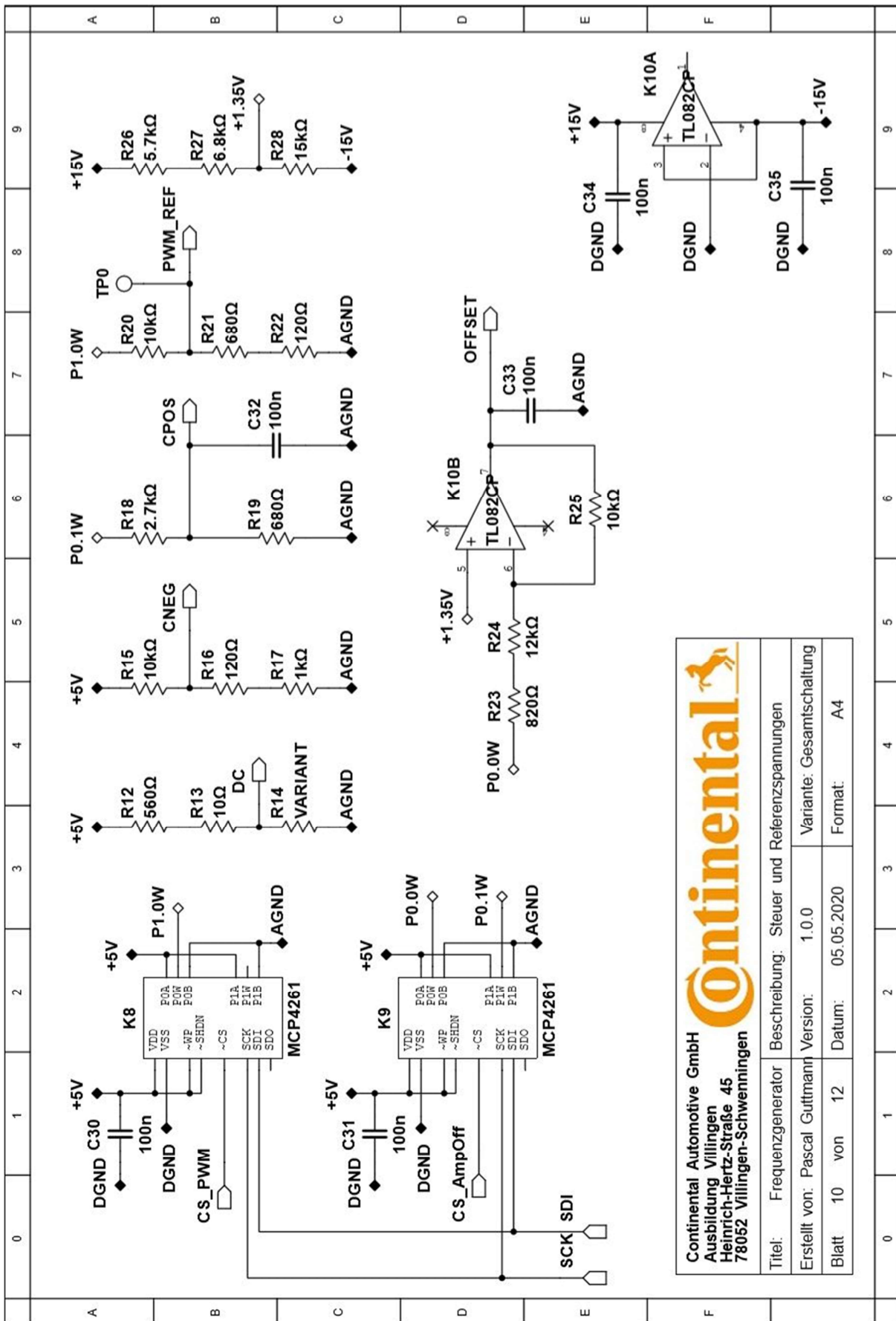


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel: Frequenzgenerator		Beschreibung: Rechteck und PWM Komparator	
Erstellt von: Pascal Guttmann		Version: 1.0.0	
Blatt 9 von 12		Datum: 22.04.2020	
		Format: A4	

Abbildung 20

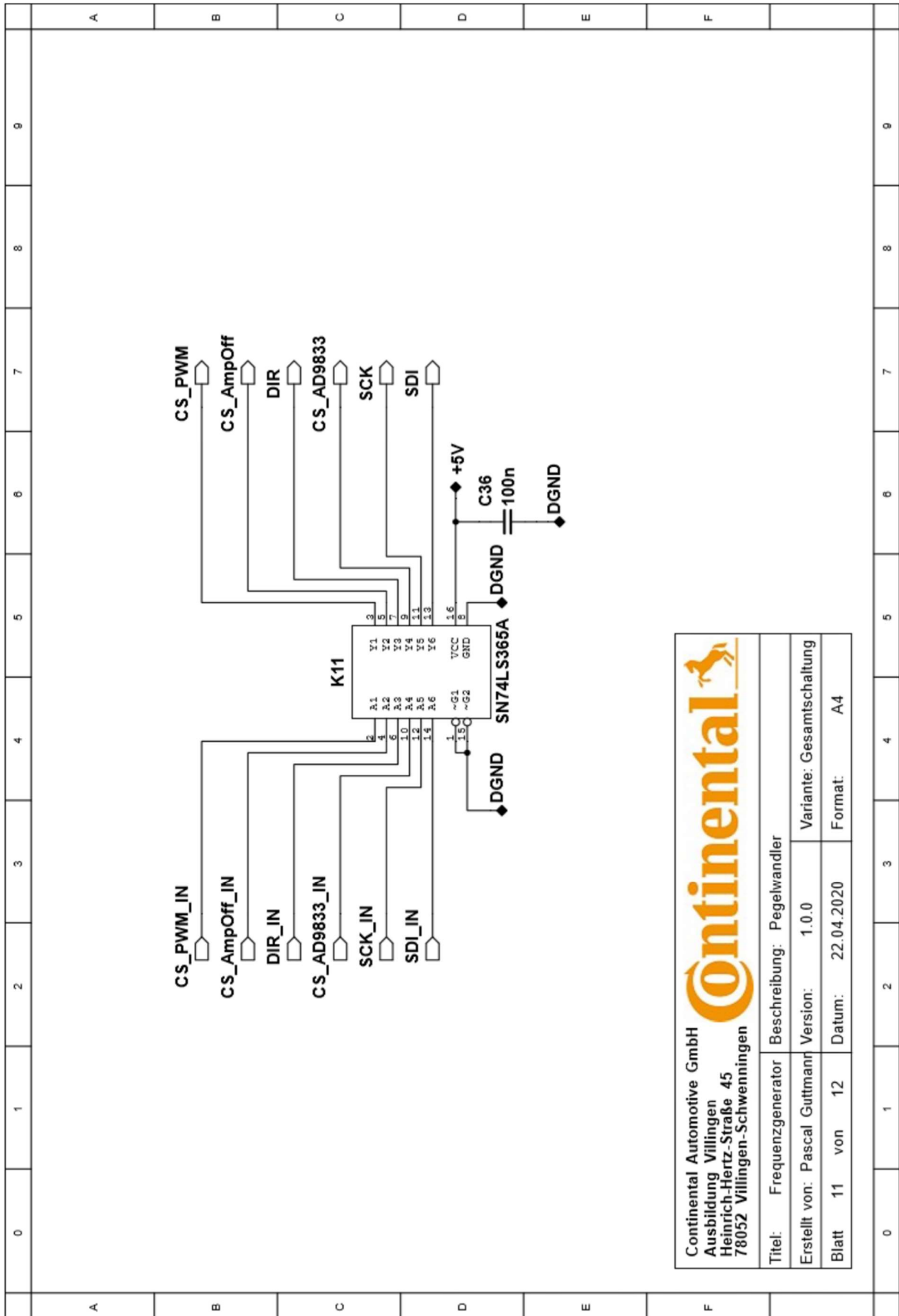


Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator		
Beschreibung:	Steuer und Referenzspannungen		
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Blatt	10 von 12	Datum:	05.05.2020
		Format:	A4

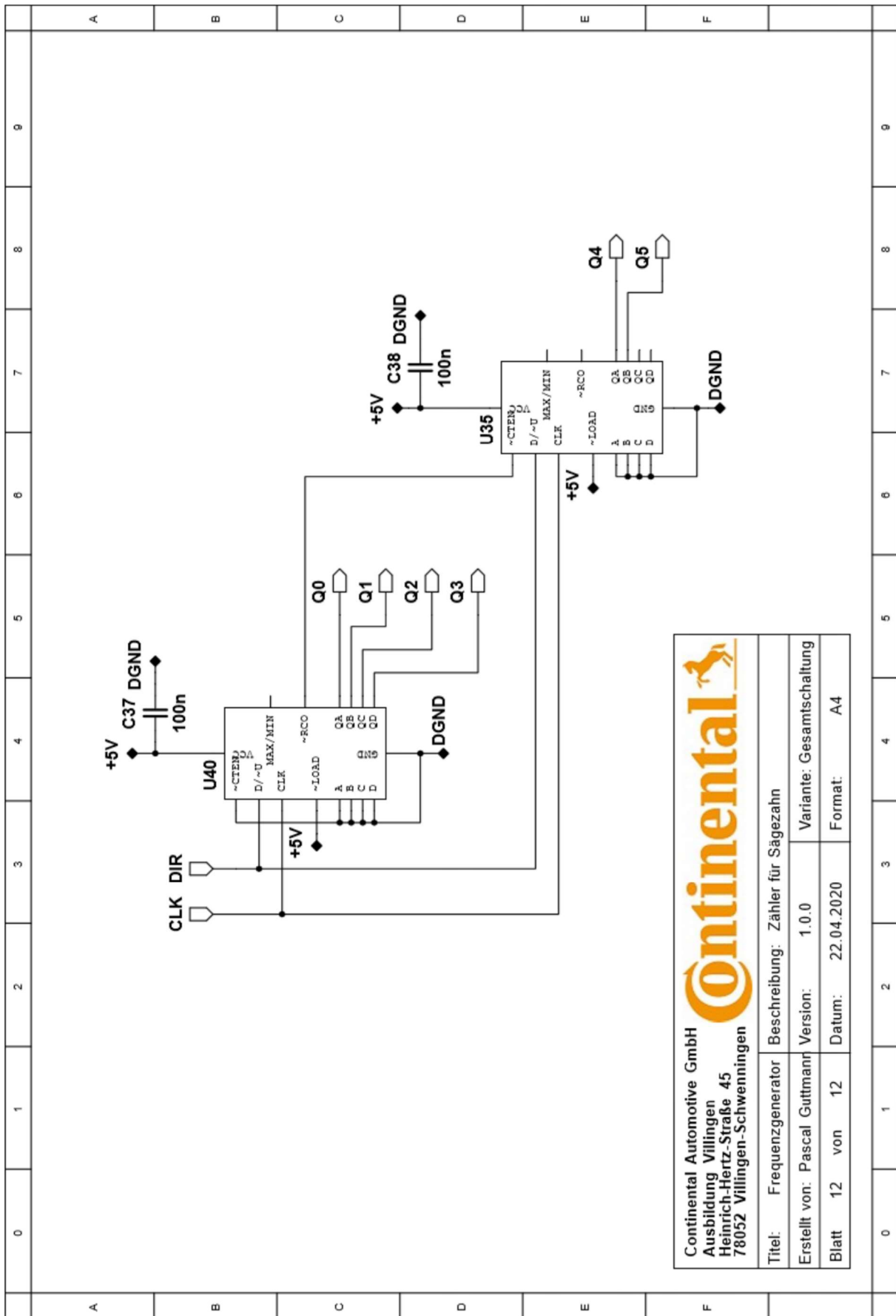
Abbildung 21



Continental
 Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator		
Beschreibung:	Pegelwandler		
Erstellt von:	Pascal Guttmann	Version:	1.0.0
Variante:	Gesamtschaltung		
Blatt	11 von 12	Datum:	22.04.2020
Format:	A4		

Abbildung 22



Continental

Continental Automotive GmbH
 Ausbildung Villingen
 Heinrich-Hertz-Strasse 45
 78052 Villingen-Schwenningen

Titel:	Frequenzgenerator	Beschreibung:	Zähler für Sägezahn
Erstellt von:	Pascal Guttman	Version:	1.0.0
Blatt	12 von 12	Datum:	22.04.2020
		Format:	A4

Abbildung 23

Stückliste

Position	Bezeichnung	Stückzahl	Wert	Beschreibung
1	C1, C2	2	330nF	Kondensator Keramik
2	C13, C17	2	15pF	Kondensator Keramik
3	C14	1	VARIANT	Nicht bestückt
4	C3, C4	2	10uF	Kondensator Tantal
5	C5, C7, C8, C15, C16, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38	14	100nF	Kondensator Keramik
6	C6, C10, C11, C19, C20, C23, C24, C27, C28	9	10nF	Kondensator Keramik
7	C9, C12, C18, C21, C22, C25, C26, C29	8	3.3uF	Kondensator Tantal
8	D1, D2	2	1N4001G	Freilaufdiode
9	G1	1	25MHz	Quarz-Oszillator
10	J1, J3, J4, J5	4	2x1	Stiftleiste (Jumper)
11	J2	1	SYNC MODUL	Synchronisations- modul
12	K1	1	AD9833	DDS IC
13	K10	1	TL082CP	OPAMP mit Adapterplatine „K10“
14	K11	1	SN74LS365A	Pegelwandler
15	K12, K13	2	SN74LS191N	Counter
16	K2	1	AD603AQ	OPAMP_VARIABLE
17	K3, K5, K6, K7	4	AD817AR	OPAMP
18	K4	1	TLC7524	DAC
19	K8, K9	2	MCP4261	Digital Poti
20	Q1, Q2	2	AGN2004H	Relais, mit Adapterplatine „Relais-Adapter“
21	Q3, Q4	2	BC547BP	BJT_NPN
22	R1	1	0Ω	RESISTOR SMD 1206
23	R12	1	560Ω	RESISTOR THT
24	R13	1	10Ω	RESISTOR THT
25	R14	1	VARIANT	Nicht bestückt
26	R15, R20, R25	3	10kΩ	RESISTOR THT
27	R16	2	120Ω	RESISTOR THT
28	R17	1	1kΩ	RESISTOR THT
29	R2, R3, R18	3	2.7kΩ	RESISTOR THT
30	R22	1	1.2kΩ	RESISTOR THT
31	R23	1	820Ω	RESISTOR THT
32	R24	1	12kΩ	RESISTOR THT
33	R26	1	5.7kΩ	RESISTOR THT
34	R27	1	6.8kΩ	RESISTOR THT
35	R28	1	15kΩ	RESISTOR THT

36	R4, R6, R9, R10, R11	5	Poti 20k	Potentiometer
37	R5, R19, R21	3	680Ω	RESISTOR THT
38	R7	1	47Ω	RESISTOR THT
39	R8	1	5.6kΩ	RESISTOR THT
40	T1	1	LM7805CT	Kühlkörper Pada 8152 und Glimmerscheibe
41	T2	1	LM7905CT	Kühlkörper Pada 8152 und Glimmerscheibe
42	TP0	1	Lötöse	Testpunkt
43	X1	1	SMA-Buchse	BNC_Coax_OUT
44	X2	1	HDR 1x9	Control IO
45	X3, X4	2	SKB 1x2	THT 5.08mm

Kosten

Die Materialkosten sind nur ein Teil der Kosten, die zur Umsetzung des Projektes entstanden sind. Hinzukommen würden noch Gemeinkosten, die zum Beispiel durch Benutzung der Werkzeuge und Maschinen in der Werkstatt entstehen, sowie Lohnkosten.

Material pro Funktionsgenerator	Kosten	
Leiterplatte	10,00	Eur
Widerstände und Kondensatoren, Dioden, Stiftleisten, SKB	5,00	Eur
Linearregler LM7805 und LM7905	2,50	Eur
25MHz Quarz	2,00	Eur
1x AD9833	6,50	Eur
1x TL082CP	0,30	Eur
1x SN74LS365A	1,10	Eur
2x SN74LS191N	2,00	Eur
1x AD603AQ	14,00	Eur
4x AD817AR	14,00	Eur
1x TLC7524	3,00	Eur
2x MCP4261	2,00	Eur
2x AGN2004H	7,00	Eur
SMA-Buchse	2,00	Eur
Gesamt Materialkosten pro Platine ca.	71,40	Eur

Layout

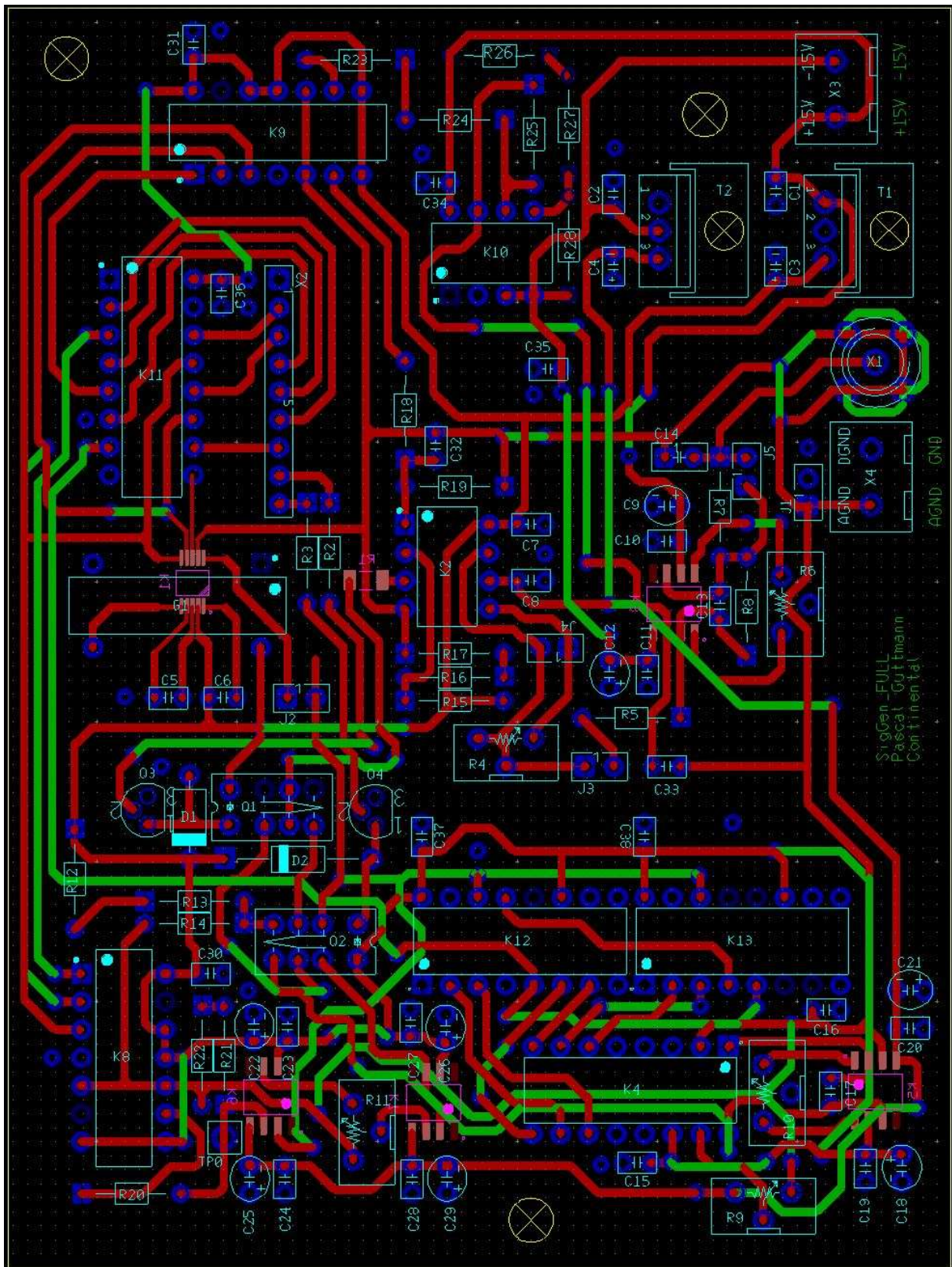


Abbildung 24

Bestückte Platine



Abbildung 27

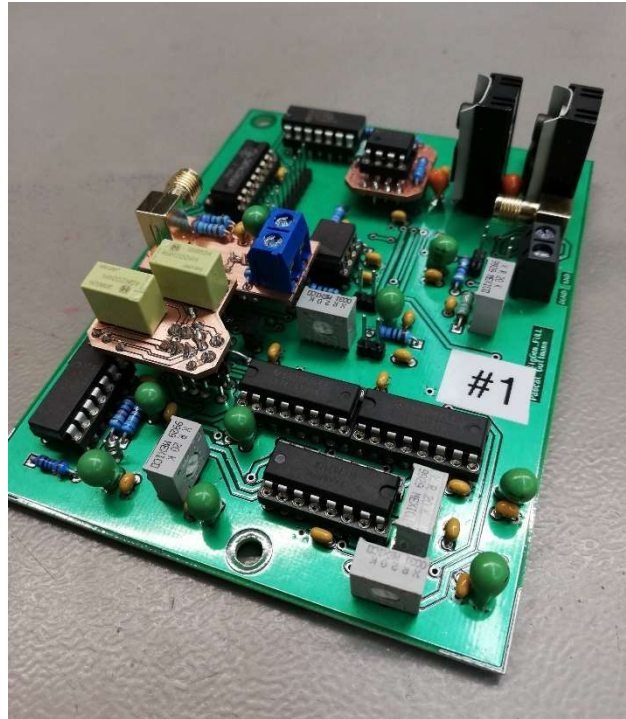


Abbildung 26

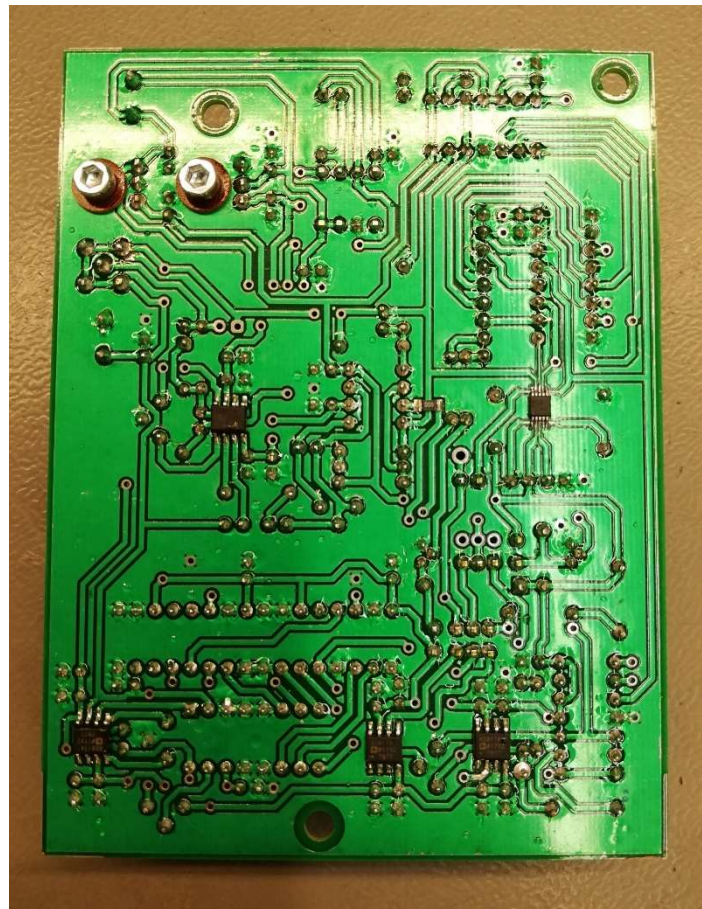



Abbildung 25

Prüfprotokoll

Prüfprotokoll elektrischer Geräte gemäß DIN VDE 0701-0702, BetrSichV, DGUV-Vorschrift 3				
Auftraggeber		Auftragnehmer		
CONTINENTAL HRPE Heinrich-Hertz-Straße 45 78052 Villingen-Schwenningen		Continental Automotive GmbH 		
Angaben zum Prüfling				
Prüflingsbezeichnung:	Funktionsgenerator			
Prüflingsnummer:	50			
Typ:	Basistyp			
Abteilung:	HR PE			
Angaben zur Prüfung				
Prüfdatum:	01.07.2020	Nächste Prüfung:	01.07.2021	
Prüfgrund:	Erstprüfung	Auftragsnummer:	50	
Prüfer:	Guttman, Pascal	Seriennummer:	9100033	
Prüfgerät:	Fluke 6500			
Ort - Nr.	Prüfschritt	Grenzwert	Messwert	Bestanden
	Sichtprüfung für Gerät und Zuleitung			ja
	PE-Widerstand ± 200 mA [0,3 Ohm], bis 5 m Zuleitung	Max. 0,3 Ohm	0.15 Ohm	ja
	Isolationsprüfung 500 V [1,0 MOhm]	Min. 1 MOhm	>299 MOhm	ja
	Leitungstest L-N			ja
	Ersatzableitstrom [3,5 mA]	Max. 3,5 mA	0.22 mA	ja
	Berührungsstrom [0,5 mA]	Max. 0,5 mA	0.00 mA	ja
Die Prüfung wurde ordnungsgemäß durchgeführt. Die Prüfung wurde bestanden.				
Ort, Datum	Unterschrift			
15.07.20	