



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

*Fachbereich Elektrotechnik und Informatik  
Labor für Informationstechnik  
Praktikum Mikroprozessortechnik*

<b>Aufgabe</b> <b>1</b> <i>Exercise</i>	<b>Digitalvoltmeter<sup>1</sup></b> <b><i>Digital Voltmeter</i></b>	
Semester / Gruppe <i>Semester / Group</i>		Protokollführer <i>Chairperson</i>
Versuchstag <i>Day of Exercise</i>		Versuchsteilnehmer <i>Participants</i>
Professor <i>Professor</i>		

Die Aufgabe ist in 3 Versuche unterteilt. Wenn es nicht anders vereinbart wird, sind alle drei Aufgaben zu programmieren und zu testen.

*The exercise consists of 3 experiments. Unless otherwise stated, all three experiments are be programmed and tested.*

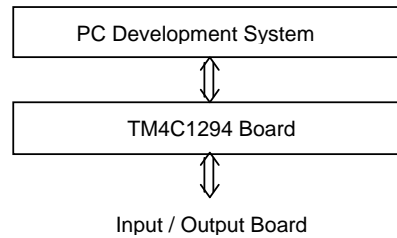
---

<sup>1</sup> Thl, Snd, Pnr 6.05, Ltl 11.13, Pro 01/2018

## Einführung

Bild 1 zeigt PC-Entwicklungssystem und Texas Instruments TM4C1294-Board.

- Die Bausteine des Digitalvoltmeters sind mit dem Input/Output-Board zu verbinden.
- Mit Editor, Compiler oder Assembler und Linker ist die Steuerungssoftware für die Analog-Digital-Umsetzungsverfahren im PC-Entwicklungssystem zu programmieren, zu übersetzen und zu binden.
- Die Steuerungssoftware ist dann in das TM4C1294-Board zu übertragen, und das Digitalvoltmeter ist zu testen.



Erläuterungen zu A/D-Umsetzungsverfahren mit einem D/A-Umsetzer in der Rückführung sind im Anhang zu finden.

## Versuche:

### Externer D/A-Umsetzer

Das Übertragungsverhalten des externen D/A-Umsetzers ist in Tabelle 1 zu finden. Bild 2 zeigt die Schaltung. Der Triggerpuls erzeugt einen Flankenwechsel am Beginn eines Umsetzungszyklus und kann zur Triggerung des Oszilloskops verwendet werden.

Tabelle 1 Übertragungsverhalten des externen D/A-Umsetzers

Digital input	Analog output
0000 0000	0V
0000 0001	$0V + 1 U_{LSB}$
0000 0010	$0V + 2 U_{LSB}$
...	...
1111 1110	$5V - 2 U_{LSB}$
1111 1111	$5V - 1 U_{LSB}$

Voltage step:  $U_{LSB} = 5V/256 = 19.53125mV$

Analog output:  $U_{out} = (\text{Digital input}) \cdot U_{LSB}$

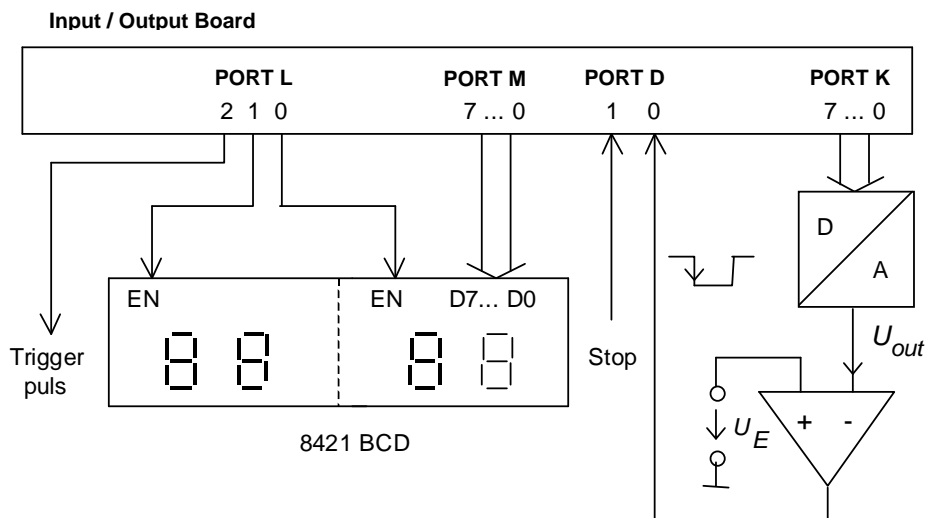


Bild 2 Schaltung

### Aufgabe 1: Treppenverfahren

Über Port K legt man dual ansteigende Eingangswerte an den D/A-Umsetzer (0000 0000, 0000 0001, ..., 1111 1111). Bild 2 zeigt die Schaltung. Der Umsetzer wandelt diese Werte gemäß Tabelle 1 in eine treppenförmige Ausgangsspannung  $U_{out}$ . Wenn  $U_{out}$  größer als die zu messende Eingangsspannung  $U_E$  wird, schaltet der Komparator. Der letzte digitale Eingangswert ist zur Eingangsspannung  $U_E$  proportional. Die gemessene Spannung ist dreistellig über die Ports L und M auszugeben. Hinweis: Wenn der Eingangswert des D/A-Umsetzers geändert wird, vergehen etwa  $30 \mu s$  bis das Ausgangssignal des Komparators stabil an PD(0) anliegt.

Entwerfen Sie Stuktoogramme oder Flussdiagramme für das Treppenverfahren. Durch Aktivierung des Tastersignals "Stop" an PD(1) soll die AD-Umsetzung solange ausgesetzt werden, bis der Taster wieder losgelassen wird.

Schreiben Sie ein C-Programm.

### Aufgabe 2: Wägeverfahren (Sukzessive Approximation)

Über Port K in Bild 2 wird zuerst eine Dualzahl ausgegeben, bei der nur das MSB gesetzt ist (1000 0000). Ist die zugehörige Ausgangsspannung  $U_{out}$  kleiner als die Eingangsspannung  $U_E$ , schaltet der Komparator nicht. Andernfalls schaltet er den an PD(0) anliegenden Spannungspegel auf 0V. Auf diese Weise kann entschieden werden, ob das MSB gesetzt bleiben muss oder ob es wieder wegzunehmen ist. Das beschriebene Verfahren wird sinngemäß für alle anderen Bitstellen wiederholt. Man erhält als Ergebnis eine zur Eingangsspannung  $U_E$  proportionale Dualzahl. Die gemessene Spannung ist dreistellig über die Ports L und M auszugeben. Hinweis: Wenn der Eingangswert des D/A-Umsetzers geändert wird, vergehen etwa  $30 \mu s$  bis das Ausgangssignal des Komparators stabil an PD(0) anliegt.

Entwerfen Sie Stuktoogramme oder Flussdiagramme für das Wägeverfahren. Durch Aktivierung des Tastersignals "Stop" an PD(1) soll die AD-Umsetzung solange ausgesetzt werden, bis der Taster wieder losgelassen wird.

Schreiben Sie ein C-Programm.

### Aufgabe 3: Interner A/D-Umsetzer

Das Übertragungsverhalten des internen 12 bit A/D-Umsetzers ist in Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2 Übertragungsverhalten des internen A/D-Umsetzers

Analog input $U_E$	Digital output $D$
$0 \leq U_E < 1/2 U_{LSB}$	0000 0000 0000
$1/2 U_{LSB} \leq U_E < 3/2 U_{LSB}$	0000 0000 0001
$3/2 U_{LSB} \leq U_E < 5/2 U_{LSB}$	0000 0000 0010
$\vdots$	$\vdots$
$5V - 3/2 U_{LSB} \leq U_E < 5V - 1/2 U_{LSB}$	1111 1111 1111

Voltage step:  $U_{LSB} = 5V/4096 = 1.220703 \text{ mV}$

Digital output:  $D = (\text{int}) (U_E/U_{LSB} + 0.5)$

Bild 3 zeigt die Schaltung. Der A/D-Umsetzer wandelt die an PE(0) (= AIN3) angeschlossene analoge Eingangsspannung  $U_E$  in den zugehörigen Digitalwert. Man erhält als Ergebnis eine zu  $U_E$  proportionale Dualzahl. Die gemessene Spannung ist vierstellig über die Ports L und M auszugeben.

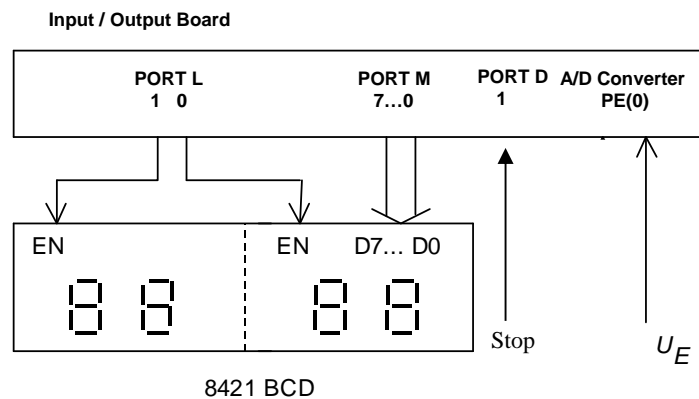


Bild 3 Schaltung

Entwerfen Sie Stuktoogramme oder Flussdiagramme für das Steuerungsprogramm. Durch Aktivierung des Tastersignals "Stop" an PD(1) soll die AD-Umsetzung solange ausgesetzt werden, bis der Taster wieder losgelassen wird.

Schreiben Sie ein C-Programm.

## Versuchsdurchführung

Geben Sie Ihr jeweiliges Steuerungsprogramm in das PC-Entwicklungssystem ein, übersetzen und binden Sie es. Beseitigen Sie gegebenenfalls vom Compiler, vom Assembler oder vom Linker gemeldete Fehler. Schließen Sie dann die externe Hardware an das Input/Output-Board an und übertragen Sie das Steuerungsprogramm in das TM4C1294-Board. Überprüfen Sie die Arbeitsweise und beseitigen Sie Fehler, falls dies erforderlich ist.

- Schließen Sie an  $U_E$  zusätzlich ein professionelles Digitalvoltmeter an. Notieren und vergleichen Sie die angezeigten Spannungswerte. Untersuchen Sie Abweichungen und diskutieren Sie die Gründe dafür.
- Nur Versuche 2.1.1 bis 2.1.3: Verbinden Sie PL(2) (vgl. Bild 2) mit einem Kanal des Oszilloskops und benutzen ihn als Triggerquelle. Stellen Sie die Ausgangsspannung des D/A-Umsetzers, das Komparatorsignal und das Eingangssignal dar. Ermitteln Sie aus diesen Oszillogrammen die Umsetzungszeit.
- Ermitteln Sie die Umsetzzeiten des Treppen- und Wägeverfahrens. Diskutieren Sie im Protokoll die Auswirkungen auf die Umsetzungs bzw. Abtastrate als Kenngröße des Analog - Digital- Umsetzers.

## Anhang

### A/D-Umsetzer mit einem D/A-Umsetzer in der Rückführung

Bild 4 zeigt die Struktur eines A/D-Umsetzer mit einem D/A-Umsetzer in der Rückführung.

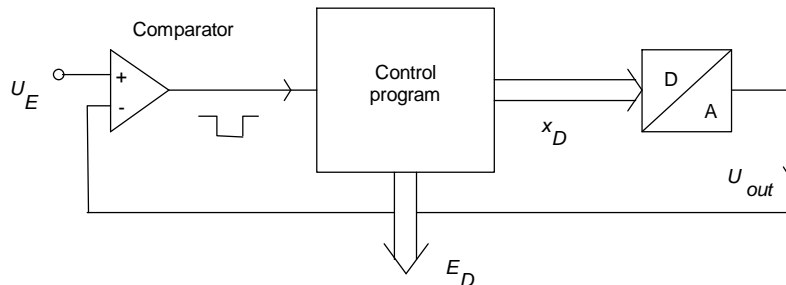


Bild 4 D/A-Umsetzer mit einem A/D-Umsetzer in der Rückführung

Das Steuerungsprogramm erzeugt nach einer geeigneten Strategie digitale Werte  $x_D$ . Die daraus abgeleitete Spannung  $U_{out}$  wird mit der analogen Eingangsspannung  $U_E$  verglichen. Wenn die beiden Spannungen "gleich" sind, wird die Umsetzung beendet. Das Steuerungsprogramm gibt dann das digitale Ergebnis  $E_D$  aus.  $E_D$  wird während der nächsten Umsetzung konstant gehalten und kann sich von  $x_D$  zusätzlich in der Codierung unterscheiden.

Beim *Treppenverfahren* gibt das Steuerungsprogramm am Anfang der Umsetzung  $x_D = 0$  aus und zählt  $x_D$  dann in Einer-Schritten hoch. Als Folge steigt  $U_{out}$  treppenförmig an. Wenn  $U_{out}$  größer als  $U_E$  wird, ändert sich der Ausgangspegel des Komparators und zeigt damit dem Steuerungsprogramm an, dass die Ausgabe von Treppenstufen zu beenden ist. Das Treppenverfahren ist einfach, aber langsam. Die Umsetzungszeit hängt von der Höhe der Eingangsspannung  $U_E$  ab.

Das *Wägeverfahren* arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie eine Balkenwaage mit einem Gewichtssatz von  $\text{Max}/2$ ,  $\text{Max}/4$ ,  $\text{Max}/8$ , usw. Zuerst wird das schwerste Gewicht  $\text{Max}/2$  aufgelegt. Ist  $\text{Max}/2$  zu leicht, dann wird  $\text{Max}/4$  dazugelegt. Ist  $\text{Max}/2$  zu schwer, dann wird es wieder entfernt und durch  $\text{Max}/4$  ersetzt. Diese Vorgehensweise wird sinngemäß solange wiederholt, bis auch das leichteste Gewicht verglichen worden ist.

Bild 5 zeigt den Verlauf von  $U_{out}$  bei einer A/D-Umsetzung nach dem Wägeverfahren. Da stets acht Schritte erforderlich sind, ist die Umsetzungszeit hier von der Höhe der Eingangsspannung  $U_E$  weitgehend unabhängig.

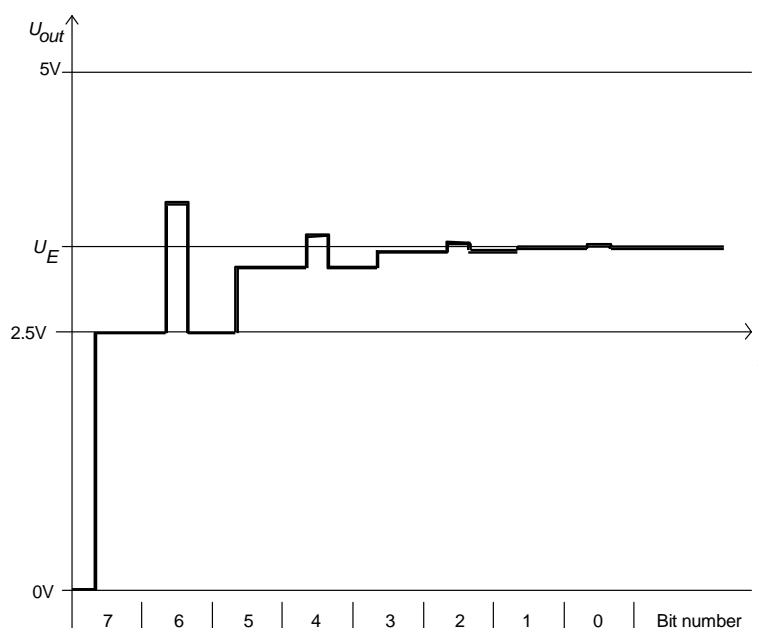
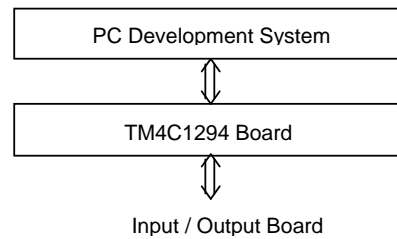


Bild 5 Spannungsverlauf beim Wägeverfahren

## Introduction

Figure 1 shows the PC system for development and the TM4C1294 board.

- The components of the digital voltmeter have to be wired with the input/output board.
- Use editor, compiler or assembler, and linker of the PC system for developing the control software for the analog-to-digital conversion programs.
- Then transfer the control software to the TM4C1294 board for test.



Explanations about analog-to-digital conversion methods with a D/A converter feedback loop can be found in the appendix.

## Experiments

### External D/A converter

The transfer characteristics of the external D/A converter may be found in table 1. Figure 2 shows the circuit diagram. The trigger pulse signal generates a rising edge at the start of a conversion cycle and is used to trigger the oscilloscope.

Digital input	Analog output
0000 0000	0V
0000 0001	$0V + 1 U_{LSB}$
0000 0010	$0V + 2 U_{LSB}$
...	...
1111 1110	$5V - 2 U_{LSB}$
1111 1111	$5V - 1 U_{LSB}$

Voltage step:  $U_{LSB} = 5V/256 = 19.53125mV$

Analog output:  $U_{out} = (\text{Digital input}) \cdot U_{LSB}$

Table 1 Transfer characteristics of the external D/A Converter

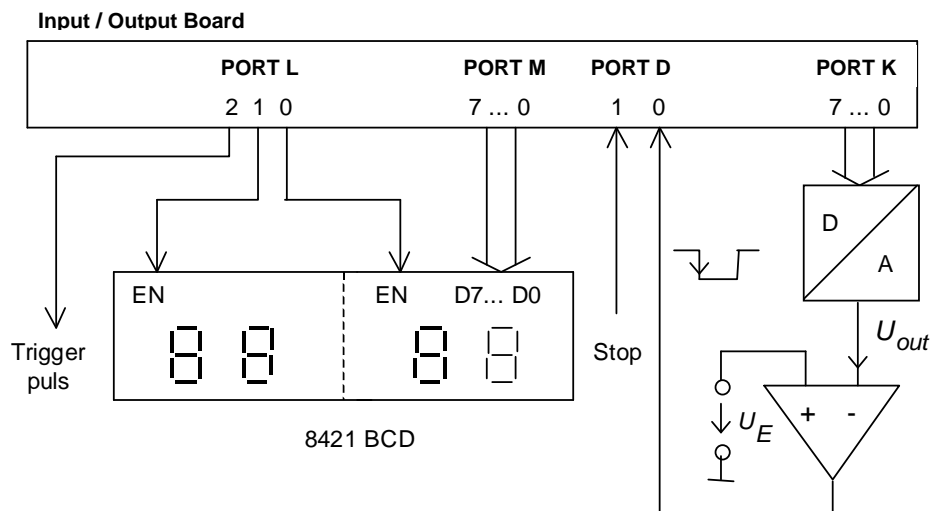


Figure 2 Circuit Diagram

### Exercise 1: Staircase method

Using port K increasing binary numbers are fed to the D/A converter (0000 0000, 0000 0001, ..., 1111 1111). Figure 2 shows the circuit diagram. The converter generates a staircase output voltage  $U_{out}$  according to the transfer characteristics in table 1. When  $U_{out}$  becomes greater than the input voltage to measure  $U_E$ , the comparator switches to low. The according digital input value is proportional to the input voltage  $U_E$ . The voltage has to be output with three digits using ports L and M. Hint: When the digital input is changed, there is a delay of about 30  $\mu$ s until the comparator output is stable.

Describe your program by Nassi-Shneiderman diagrams for the staircase conversion method. When signal PD(1) is asserted by pushing a button, the AD conversion is paused until the button is released again.

Write a C program.

### Exercise 2: Weighting conversion method (successive approximation)

At port K in figure 2 first a binary number is output with only MSB set (1000 0000). If the corresponding output voltage  $U_{out}$  is less than the input voltage  $U_E$ , the comparator puts out a high level, else the voltage level at PD(0) is switched to low. In this way the decision is possible, whether the MSB has to stay set or whether it has to be cleared. This procedure is repeated for all other bit positions. The resulting binary number is proportional to  $U_E$ . The voltage has to be output with three digits using ports L and M. Hint: When the digital input is changed, there is a delay of about 30  $\mu$ s until the comparator output is stable.

Describe your program by Nassi-Shneiderman diagrams for the weighting conversion method. When signal PD(1) is asserted by pushing a button, the AD conversion is paused until the button is released again.

2.1.3 Write a C program.

### Exercise 3: Internal A/D converter

The transfer characteristics of the internal 12 bit A/D converter may be found in table 2.

Analog input $U_E$	Digital output $D$
$0 \leq U_E < 1/2 U_{LSB}$	0000 0000 0000
$1/2 U_{LSB} \leq U_E < 3/2 U_{LSB}$	0000 0000 0001
$3/2 U_{LSB} \leq U_E < 5/2 U_{LSB}$	0000 0000 0010

...

$5V - 3/2 U_{LSB} \leq U_E <$

Voltage step:  $U_{LSB} =$

Digital output:  $D =$

Table 2 Transfer Characteristics of the Internal A/D Converter

The A/D conversion transforms the according binary value. The result is to be output with four digits using port

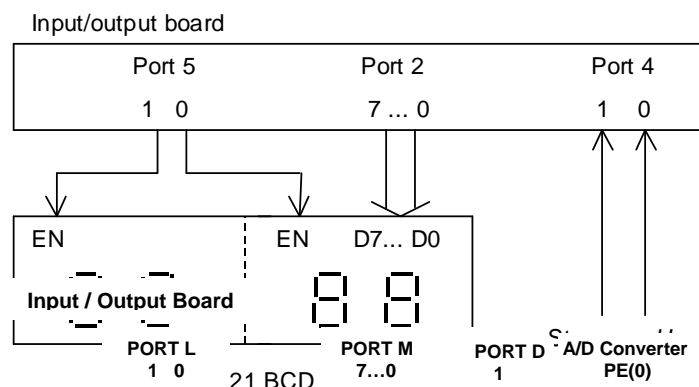


Figure 3 Circuit Diagram

Write a C program.

## Experimental Setup

Design your programs with the PC development system, compile or assemble and link them. Correct compiler, assembler, and linker errors if necessary. Connect the external hardware to the input/output board and transfer the control program to the LM3S9B92 board. Test your program and correct errors if required.

- Measure  $U_E$  with a professional digital voltmeter. Note and compare the voltage levels, analyze and discuss differences.
- Experiments 2.1.1 to 2.1.3 only: Connect PL(2) (see figure 2) to the channel of an oscilloscope and use him as trigger source. Display the output voltages of D/A converter, comparator and analog input voltage. Find the period of a conversion cycle.
- Determine the conversion time of the Staircase - and Weighting conversion method (sucessive approximation).  
Discuss the effects of the conversionrate as parameter of the ADC.



## Appendix

### A/D converter with D/A converter in feedback loop

Figure 4 shows the structure of an A/D converter with D/A converter in feedback loop.

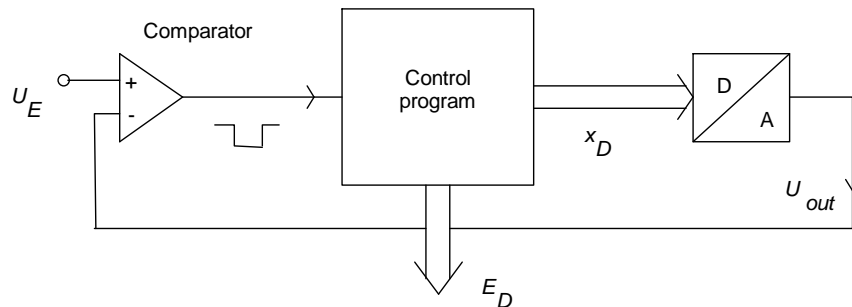


Figure 4 A/D converter with D/A Converter in Feedback Loop

The control program generates digital numbers  $x_D$  using a suitable strategy. The resulting voltage  $U_{out}$  is compared with the analog input voltage  $U_E$ . When both voltages are equal, the conversion is finished. The control program then puts out the digital value  $E_D$ .  $E_D$  is kept constant during the next conversion and may be different from  $x_D$  by coding.

For the *staircase conversion method* the control program puts out  $x_D = 0$  at the beginning and then counts up  $x_D$  in steps of one. As a result  $U_{out}$  is increasing in stairs. When  $U_{out}$  is getting greater than  $U_E$ , the changing output level of the comparator is a signal for the control program to stop the output of stairs. The staircase method is easy but slow. The conversion time depends on the value of the input voltage  $U_E$ .

The *weighting conversion method* works on the principle of beam scales with a set of weights of  $\text{Max}/2$ ,  $\text{Max}/4$ ,  $\text{Max}/8$ , and so on. The biggest weight is taken first. If  $\text{Max}/2$  is too light,  $\text{Max}/4$  is added; otherwise  $\text{Max}/2$  is removed and replaced by  $\text{Max}/4$ . This procedure is repeated logically, until the lightest weight is compared.

Figure 5 shows the characteristic of  $U_{out}$  during an A/D conversion cycle using the weighting method. The conversion time is obviously independent of the size of the input voltage  $U_E$ .

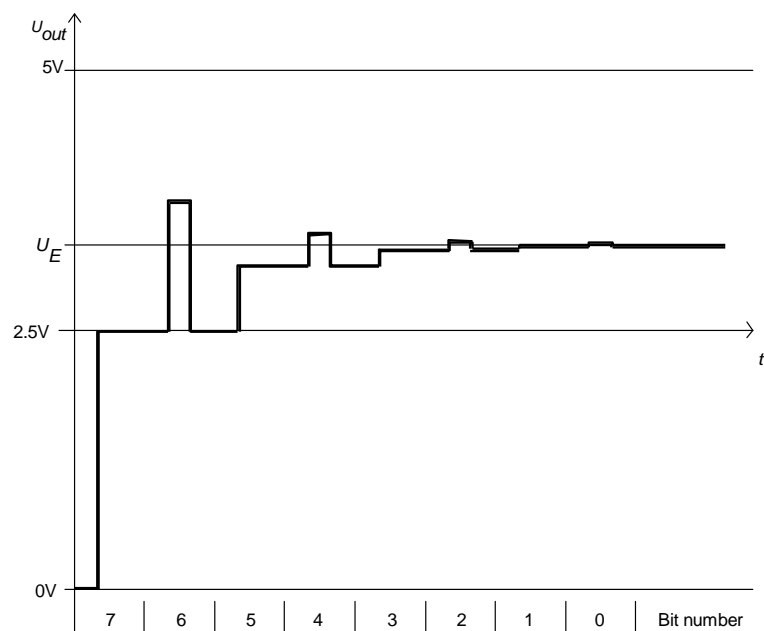


Figure 5 Voltage Course of Weighting Method Conversion