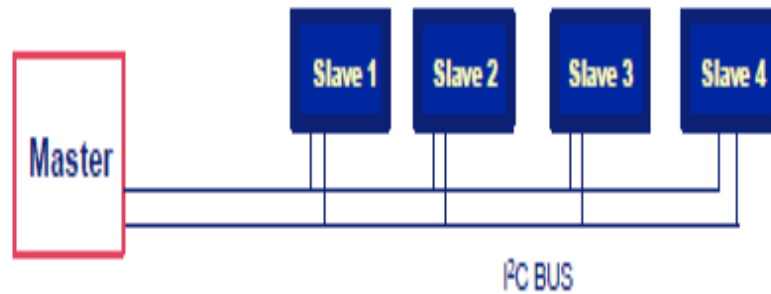


I2C תקשורת

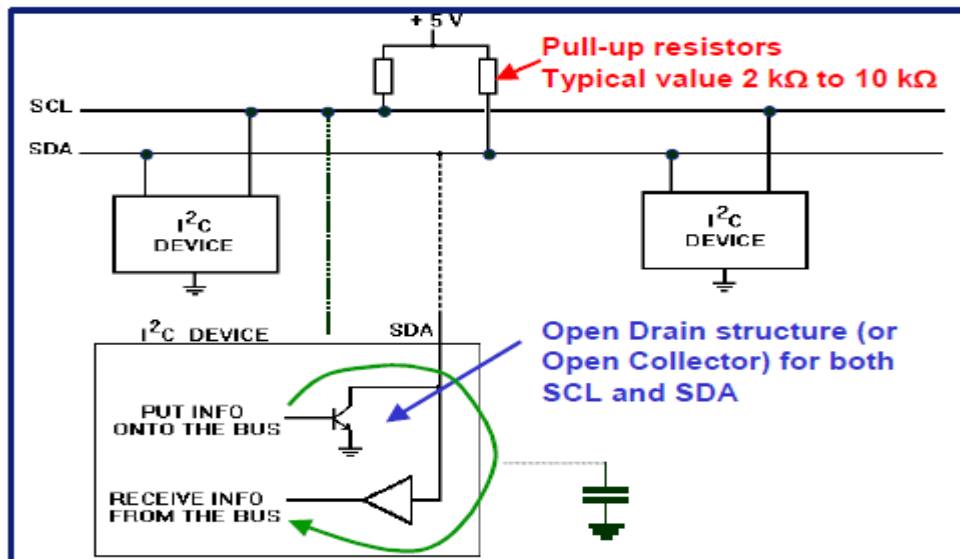
תקשורת I²C היא תקשורת טורית בין מעבד-מסטר - ורכיב עבד - SLAVE .
 על פס תקשורת I²C יכולים להתחבר מספר רכיבים שונים (זיכרונות , ממירים, שעוני זמן אמת , מרחיבי פס וכו'). הרכיב המנהל את תהליך התקשורת (המעבד) נקרא MASTER והרכיבים המתחברים אליו נקראים SLAVES . בתקשורת זו ישנם שני קווים. קו הנתונים הטורי - SDA (Serial Data) - שהוא דו כיווני וקו השעון הטורי - SCLK (Serial CLock) - שהוא חד כיווני ומופעל על ידי ה MASTER . בנוסף, ה MASTER שולט על הגישה לפס ויוצר את מצבי ה START (התחלה) וה STOP (סיום).

איור 1 א' מתאר מספר רכיבים המתחברים על קו התקשורת I²C



איור 1 א' - חיבור של מספר רכיבי SLAVE אל MASTER

באיור 1 א' ניתן לראות 4 רכיבי SLAVE המתחברים אל MASTER. באיור 1 ב' יש פרוט של נגדי ה PullUp וכיצד נראית דרגת היציאה והכניסה של רכיב המתחבר בתקשורת I²C .



איור 1 ב' - קו תקשורת I²C מפורט

ניתן לראות שעל 2 הקווים SDA (קו הנתון) ו SCL (קו השעון) יכולים להתחבר מספר רכיבים . לכל רכיב יש כתובת ייחודית משלו. לרכיב DS1307 הכתובת היא 68H (וכאשר מזיזים ביטים פעם אחת שמאלה – יוסבר מדוע בהמשך) הכתובת היא 1101000X (D0H לכתובה או D1H לקריאה). לרכיב קול של חברת WINBOND הנקרא ISD5116 הכתובת היא 40H או 80H לאחר הזזה של ביט שמאלה וכך הלאה. באיור רואים 2 רכיבים המתחברים על הקווים. בחלק התחתון של האיור רואים מבנה פנימי של רכיב ורואים שהרכיב מתחבר בעזרת חוצץ (מתואר על ידי המשולש) המקבל נתון מהקו. מעל החוצץ יש טרנזיסטור בחיבור קולט פתוח (Open Collector) או טרנזיסטור תופעת שדה - FET - בחיבור מפק פתוח (Open Drain) , שיכול לכתוב לקו נתון. לטרנזיסטור יש לחבר נגד חיצוני שערכו נע בין 2 קילו אוהם ל 10 קילו אוהם. הערכים נבחרים כך שמצד אחד הנגדים לא יהיו קטנים מידי כדי שלא יזרום זרם גדול דרך הקווים ודרך הרכיב (במצב שהרכיב מוציא 0) ומצד שני שהנגד לא יהיה גדול מידי כי הוא קובע את זמן הטעינה והפריקה במעברים בין 0 ל 1 ולהפך ונגד גדול מידי יגביל את קצב התקשורת.

כללים והגדרות בתקשורת I²C

- העברה יכולה להתחיל רק כאשר הקו לא עסוק - NOT BUSY .
- בזמן העברת נתון, קו הנתון חייב להישאר יציב כאשר קו השעון במצב גבוה. שינוי בקו הנתון כאשר קו השעון הוא גבוה יתפרש כאותות בקרה. מגדירים את מצבי הפס הבאים :

Bus Not Busy - פס לא עסוק

גם קו הנתון וגם קו השעון בגבוה.

START DATA TRANSFER - התחל העברת נתון

שינוי במצב קו הנתון מגבוה לנמוך כאשר השעון נמצא בגבוה מוגדר כמצב START .

STOP DATA TRANSFER - עצור העברת נתון

שינוי במצב קו הנתון מנמוך לגבוה כאשר השעון במצב גבוה מוגדר כמצב STOP .

DATA VALID - תקפות נתון

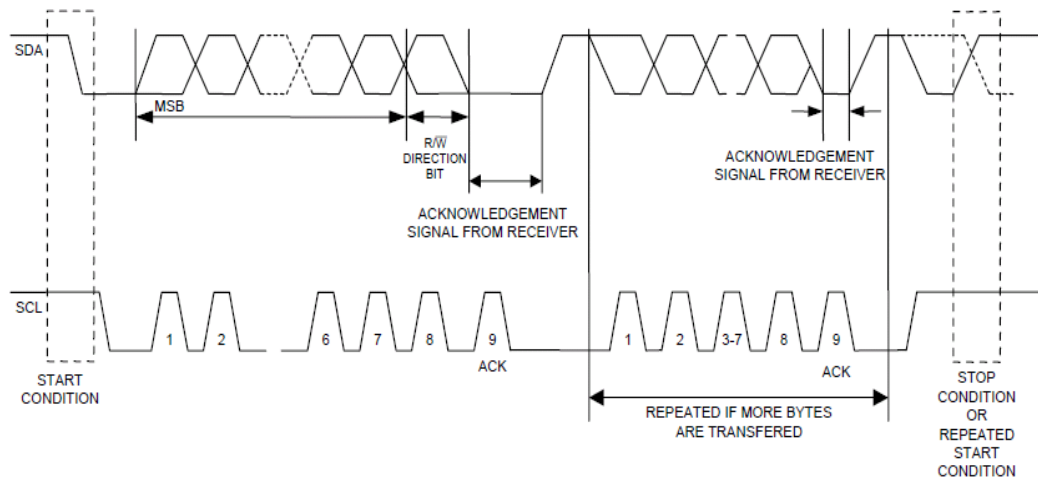
מצב קו הנתון מייצג תקפות נתון כאשר לאחר מצב START, קו הנתון יציב למשך זמן הגבוה של אות השעון. הנתון בקו חייב להשתנות רק בזמן מצב נמוך של אות השעון. יש פולס שעון אחד עבור כל ביט של נתון.

כל העברת נתונים מתחילה עם מצב START ומסתיימת עם מצב STOP. כמות הבתים המועברת בין START ל STOP לא מוגבלת ונקבעת על ידי רכיב ה MASTER. האינפורמציה מועברת ביית אחרי ביית וכל מקלט מאשר קבלת הבית עם ביט תשיעי של ACKNOWLEDGE. בהגדרות של I²C יש תקן של קצב ב 100KHz ויש תקן ל 400KHz.

ACKNOWLEDGE – אישור

כל רכיב קולט חייב בסיום קליטת ביית, שהועבר אליו, ליצור ביט ACKNOWLEDGE. רכיב ה MASTER יוצר פולס שעון נוסף הקשור לביט זה. רכיב היוצר ACKNOWLEDGE חייב להוריד את קו הנתון הטורי – SDA – ל 0 בזמן פולס השעון, כלומר שקו הנתון יהיה יציב בנמוך בזמן שקו השעון בגבוה. רכיב ה MASTER מסמן ל SLAVE על סיום התקשורת על ידי **אי יצירת** ביט ה ACKNOWLEDGE כאשר הוא קלט את הביית האחרון מה SLAVE. במקרה כזה על ה SLAVE להשאיר את קו הנתון בגבוה כדי לאפשר ל MASTER ליצור מצב STOP.

באיור 2 ניתן לראות העברה של נתון טורי.



איור 2 - העברת נתון בקו תקשורת טורית I²C

את הקו SCL (הקו התחתון בשרטוט) יוצר תמיד ה MASTER. כדאי לשים לב שמצב START קורה כאשר קו SCL בגבוה ואז ה MASTER הוריד את קו הנתון ל 0. לאחר מכן ה MASTER יוצר 8 פולסי שיעון ואז הוא שולח בקו הנתון - SDA - 8 ביטים. 7 ביטים הם כתובת הרכיב והביט ה 8 אומר האם הוא רוצה לכתוב אל הרכיב או לקרא ממנו (0 - כתיבה, 2 - קריאה). לאחר מכן ה MASTER יוצר פולס 9 נוסף שבו ה SLAVE צריך להחזיר ACKNOWLEDGE. לאחר מכן אין צורך ב START נוסף והבתים נשלחים אחד אחרי השני כאשר הצד הקולט נותן ACKNOWLEDGE בביט מספר 9. מצב STOP (או START חוזר) מתואר בצד ימין של איור 6. הוא נוצר כאשר קו הנתון ב 1 ואז בקו הנתון יש מעבר מ 0 ל 1. מצב START חוזר משורטט בקו מקווקו ובו רואים שבזמן שקו הנתון ב 1 יורד קו הנתון ל 0.

העברת נתון בתקשורת I²C

שתי אפשרויות העברת נתונים קיימות בקו תקשורת I²C :

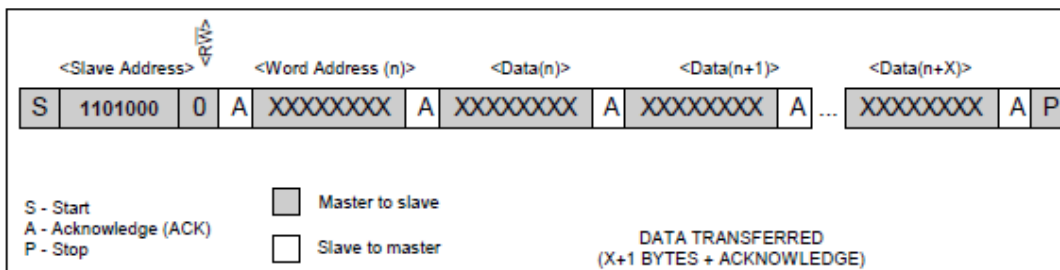
א. ה MASTER משדר וה SLAVE קולט - אופן כתיבה - Write Mode

במקרה זה הביית הראשון המשודר על ידי ה MASTER הוא הכתובת של ה SLAVE (במקרה של רכיב DS1307 הכתובת היא 1101000X - D0H במקרה של כתיבה לרכיב או D1H אם קוראים מהרכיב). לאחר מכן יבואו מספר בתים של נתונים. ה SLAVE מחזיר ACKNOWLEDGE בסיום כל ביית נתונים שקלט. הנתון מועבר עם ביט ה MSB ראשון !!

ב. ביית משודר מה SLAVE אל ה MASTER - אופן קריאה - Read Mode

במקרה זה הביית הראשון שנשלח הוא על ידי ה MASTER השולח את כתובת ה SLAVE שמחזיר מצידו את ביט ה ACKNOWLEDGE. מכאן ה SLAVE שולח מספר בתי נתונים. ה MASTER מחזיר ביט ACKNOWLEDGE אחרי כל קליטת ביית נתון חוץ מהביית האחרון שהוא איננו מחזיר ACKNOWLEDGE או אפשר להגיד שהוא מחזיר Not ACKNOWLEDGE.

אופן כתיבה - ה MASTER משדר אל אחד מה SLAVES



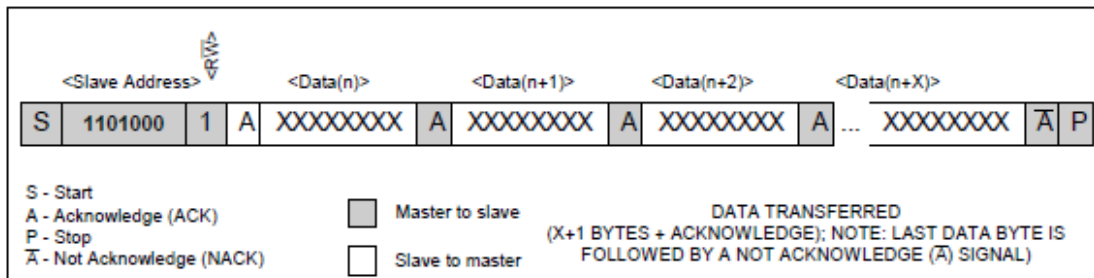
איור 3 - אופן כתיבת נתון מה MASTER כשה SLAVE הוא המקלט.

באיור 3 מתואר מצב שבו ה MASTER כותב אל ה SLAVE המשמש כמקלט. החלק הכהה שבאיור הוא מה ששולח ה MASTER. החלק הבהיר הוא מה ששולח המקלט – ה SLAVE. ה MASTER יוצר מצב START (מסומן ב S). לאחר מכן הוא שולח 7 ביטים של כתובת הרכיב - DOH במקרה של הרכיב DS1307 - והביט ה 8 הוא 0 המציין שהוא הכותב וה SLAVE הוא המקלט. על ה SLAVE לענות ב ACKNOWLEDGE (מסומן ב A). לאחר מכן ה MASTER שולח ביית נוסף הטוען את מצביע (אוגר) הכתובות בתוך הרכיב. הנתון הבא נכתב לכתובת זו ומצביע הכתובות גדל אוטומטית ב 1. כל נתון נכתב בכתובת שבמצביע הכתובות ומצביע הכתובות מתקדם ב 1. אחרי כל ביית שנקלט על ידי ה SLAVE הוא שולח אישור שקלט – ACKNOWLEDGE. ה MASTER מסיים את התקשורת בעזרת מצב STOP (מופיע בצד ימין עם האות P).

אופן קריאה - ה SLAVE משדר אל ה MASTER

גם מצב זה מתחיל תמיד במצב שבו ה MASTER משדר אל ה SLAVE אבל כאן הוא אומר שהוא רוצה לקרא ממנו. הבית הראשון שה MASTER משדר נקלט על ידי ה SLAVE כמו שתואר בפסקה הקודמת, כלומר ה MASTER יוצר מצב START, יישלח את 7 הביטים של הכתובת 10110001 אבל הביט השמיני יהיה 1 שבו הוא אומר שהוא רוצה לקרא. מכאן ה SLAVE משדר את הנתונים וה MASTER עונה עם ביט ACKNOWLEDGE. בביית האחרון, כשה MASTER רוצה בסיום התקשורת, הוא איננו מגיב בביט ה 9 ולא שולח ACKNOWLEDGE (מסומן באיור ב \bar{A}) וגם שולח ביט עשירי של STOP. הנתונים המשודרים מה SLAVE מתחילים מהכתובת האחרונה שבה נמצא מצביע הכתובות. כל נתון שה SLAVE שולח הוא מקדם את מצביע הכתובות לכתובת הבאה – אוטומטית.

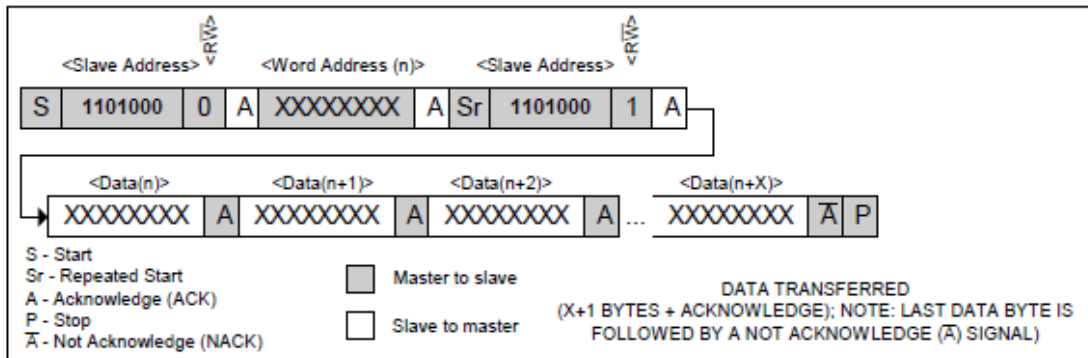
איור 4 מתאר מצב תקשורת זה. גם כאן הצבע הכהה הוא של ה MASTER והבהיר של ה SLAVE.



איור 4 - אופן קריאה – ה MASTER הוא המקלט

בדרך כלל תהליך התקשורת יהיה הבא : ה MASTER יכתוב 2 בתים אל הרכיב. בבית הראשון הוא אומר לרכיב שהוא פונה אליו לכתיבה. בבית השני הוא יציין את הכתובת הרצויה. מיד לאחר מכן יישלח STOP (או START חוזר) ואז יבצע תקשורת חדשה שבו הוא ייפנה לרכיב לקריאה מהכתובת ששלח אליו בפעולת הכתיבה.

איור 5 מתאר פעולת כתיבה וקריאה מהכתובת הרצויה. גם כאן הצבע הכהה הוא של ה MASTER והבהיר של ה SLAVE .



איור 5 – פעולה משולבת של כתיבה ל SLAVE כדי לציין כתובת רצויה וקריאה מה SLAVE

מהאיור רואים שה MASTER שלח 2 בתים אל ה SLAVE . מיד לאחר מכן יצר מצב START חוזר (מסומן ב Sr), שלח בית נוסף שבו יש את כתובת הרכיב 10110001 (הבית השמיני הוא של קריאה) ומרגע זה ה SLAVE משדר וה MASTER מגיב ב ACKNOWLEDGE . בסיום התקשורת ה MASTER לא נותן ACKNOWLEDGE (מסומן ב A̅) ולאחר מכן נותן מצב STOP .