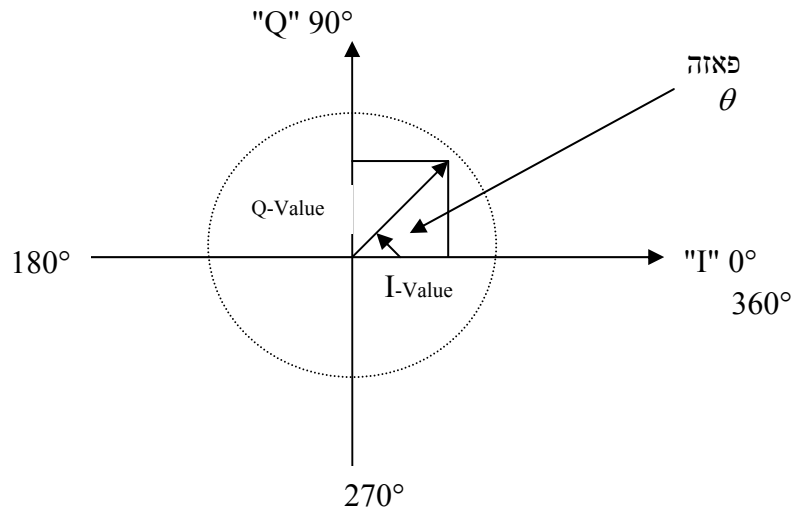


מדידת אורכי כבל קואקסיאלי באמצעות הזזת פאזה באפנון Q,I

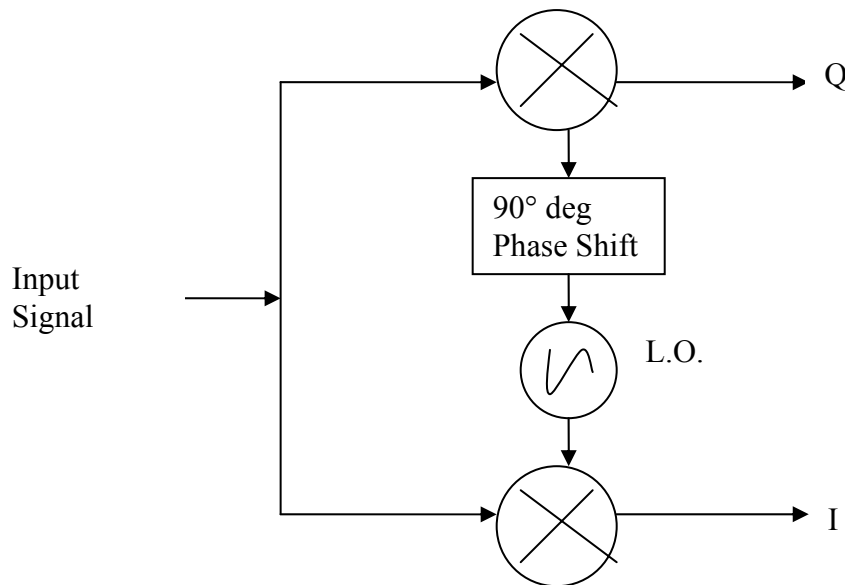
נכתב ע"י : אורי הולצקנר

תיאור פולארי של וקטור הפאזה בקורדינטות Q,I מתואר באיור מס' 1



איור מס' 1 – וקטור פאזה פולארי בקורדינטות I ו Q

אפנון I,Q מתואר סכמאטי באיור מס' 2



איור מס' 2 – אפנון Q,I

יצירת Q,I נעשה באמצעות מקור תדר אחד המפוצל לשניים. אחד מן האותות מוזז בזווית 90 מעלות ולאחר מכן מסוכם עם האות השני. שתי האותות האורתוגונאליים מרכיבים את האות המורכב. המעגל למדידת פאזה מתואר באיור המלבני – מס' 3.

$$X_1(t) = A \sin w_0 t \quad \text{אות מוצא מ VCO בתדר } w_0$$

$$X_2(t) \text{ אות כניסה למערבל מס' 2 מ VCO באותו תדר } w_0 \text{ ומוזז בפאזה } \theta \text{ כתוצאה מאורך הכבל הנמדד} \\ A=B, X_2(t) = B \sin [w_0 (t - \theta)]$$

$$X_3(t) \text{ אות במוצא ערבול מספר 1}$$

$$X_4(t) \text{ אות במוצא ערבול מספר 2}$$

$$X_5(t) \text{ אות כניסה למערבל מס' 2}$$

$$X_5(t) = A \sin (w_0 t)$$

$$X_6(t) \text{ אות כניסה למערבל מס' 1}$$

$$X_6(t) = A \sin [w_0 (t - 90^\circ)]$$

V1 מתח ישר במוצא המסנן הראשון

V2 מתח ישר במוצא המסנן השני

מוצא האות ממערבל מס' 1

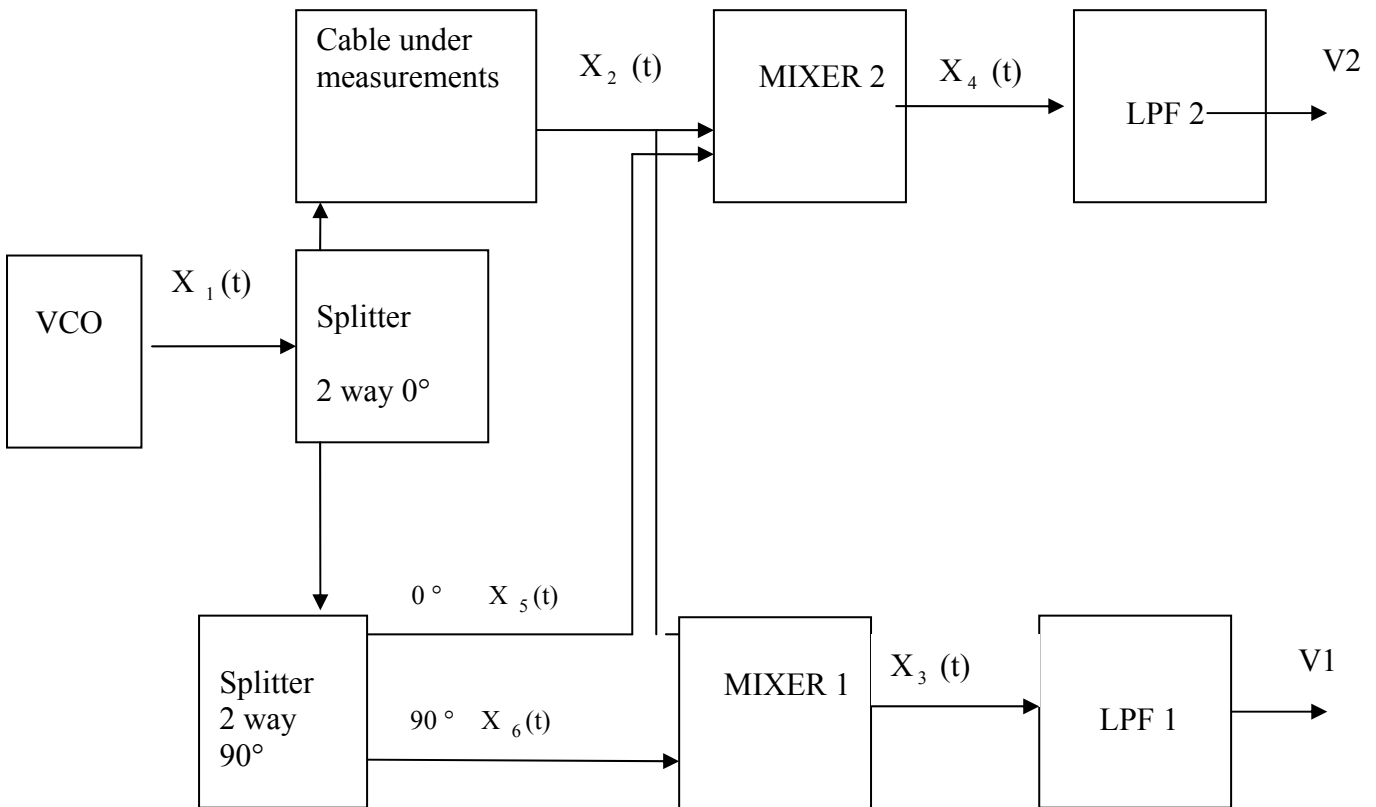
$$X_3(t)$$

$$\begin{aligned} X_3(t) &= B \cdot \sin [w_0 \cdot (t - \theta)] \cdot A \cdot \sin (w_0 t - \pi/2) = \\ &= A \cdot B/2 \cdot [\cos (w_0 t - w_0 \cdot \theta - w_0 t + \pi/2) - \cos (w_0 t - w_0 \cdot \theta + w_0 t - \pi/2)] = \\ &= A \cdot B/2 \cdot [\cos \cdot (\pi/2 - w_0 \theta) - \cos \cdot (2 \cdot w_0 \cdot t - w_0 \theta - \pi/2)] \end{aligned}$$

במוצא ערבול מספר 2 נקבל אות מוזז פאזה כתוצאה מאורך הכבל המוכפל באות ייחוס:

$$\begin{aligned} X_4(t) &= B \cdot \sin [w_0 \cdot (t - \theta)] \cdot A \cdot \sin \cdot w_0 \cdot t = \\ &= A \cdot B/2 \cdot [\cos \cdot (w_0 t - w_0 \cdot \theta - w_0 t) - \cos \cdot (w_0 t - \theta + w_0 t)] = \\ &= A \cdot B/2 \cdot [\cos \cdot (-w_0 \cdot \theta) - \cos \cdot (2 \cdot w_0 t - w_0 \cdot \theta)] = \end{aligned}$$

אותות $X_4(t)$ $X_5(t)$ יעברו דרך מסנן LPF אשר מעביר רק את התדרים הנמוכים (תדר $2w_0 t$ יחסם), ואז נקבל בהתאמה:



איור מס' 3 – מעגל סכמאטי חשמלי למדידת פאזה

$$V1 = A \cdot B/2 \cdot \cos(\pi/2 - \omega_0 \theta) = \boxed{A \cdot B/2 \cdot \sin \cdot \omega_0 \theta}$$

$$\boxed{V2 = A \cdot B/2 \cdot \cos \cdot \omega_0 \theta}$$

כדי לקבל את זווית המופע יש לבצע פעולת \arctan על המנה של $V1$ ו- $V2$ הפאזה בין שתי האותות, כדלקמן:

$$= V1/V2 = (AB/2 \sin \omega_0 \theta) / (AB/2 \cos \omega_0 \theta) =$$

$$\boxed{V1/V2 = \tan \theta \omega_0}$$

הפאזה בין שני האותות שווה ל :

$$\boxed{\theta = \frac{\arctan v1/v2}{\omega_0}}$$

$V1$ ו $V2$ נמדדים, ω_0 תדר VCO

המופע תלוי בתדר ובזמן על פי הנוסחה

$$\theta = 2 \pi f \cdot \tau = \omega \tau$$

מהירות התפשטות הגל בכבל קואקסיאלי תלוי בתכונות החשמליות שלו. בכבל קואקסיאלי RG-58 מהירות התפשטות הגל V_p

$$V_p = 0.66 V_c$$

V_c - מהירות האור $3.10 \cdot 10^8$ מ' לשנייה

$$\tau = \frac{L}{V_p}$$

זמן מעבר האות בכבל

$$\theta = \frac{L}{V_p} \omega = \frac{L}{0.66 V_c} = K \cdot L$$

$$K = \frac{\theta}{0.66 V_c} = \frac{W_0}{0.66 V_c} \quad \frac{180}{\pi} = K_0 \cdot W_0$$

קבוע K

$$L = \frac{\theta}{K_0 W_0}$$

L אורך קבל

בגלל התקפלות הגל המחזורי יש לבחור את התדר בהתאמה לאורך הכבל הנמדד במעגל החשמלי הנידון נבחר תדר 75 MHz האורך המקסימאלי שניתן למדוד בכבל הנדון

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8}{75 \cdot 10^6} = 4 \text{ m}$$

באוויר

$$4 \cdot 0.66 = 2.64 \text{ m}$$

בכבל

אורך כבל מקסימאלי למדידה הוא 2.64 מטר

תוצאות מדידה של אורכי כבל :

Physical Length, cm	Phase measurement system result		Theoretical results	Network analyzer and delay measurements			Calibration			Measured Length, cm
	Phase (meas), deg	Phase (edit), deg		Phase (calc), deg	Phase NA, deg	Phase NA (edit), deg	Delay NA, ns	Offset, deg	Phase (cal), deg	
16	91.2	91.2	21.6	-22.5	22.5	1	68.7	16.13	-6.37	11.94814815
30	111.8	111.8	40.5	-41.5	41.5	2	70.3	36.73	-4.77	27.20740741
50	150.1	150.1	67.5	-68.7	68.7	3	81.4	75.03	6.33	55.57777778
100	-146.7	213.3	135	-136.4	136.4	6	76.9	138.23	1.83	102.3925926
150	-87.4	272.6	202.5	154.9	205.1	8	67.5	197.53	-7.57	146.3185185
200	-3.8	356.2	270	88	272	11	84.2	281.13	9.13	208.2444444
250	55.5	55.5	337.5	19.4	340.6	13	74.9	340.43	-0.17	252.1703704
300	120.3	120.3	45	-47.9	47.9	16	72.4	45.23	-2.67	33.5037037

NA – Network Analyzer

הטבלה כוללת 11 עמודות המתארות את המדידות והחישובים שנעשו למדידת אורכי הכבלים התוצאות הושוו גם עם תוצאות נתח האותות NA

עמודה ראשונה: Physical Length – כוללת את רשימת האורכים השונים עבורם נעשו מדידות פאזה, החל מ 16 ס"מ ועד 300 ס"מ.

עמודה שנייה: Phase meas – מתארת את התוצאות של מדידות הפרש פאזה כפי שהתקבלו מהמעגל החשמלי.

עמודה שלישית: Phase edit - מתארת את אותם התוצאות. רק לאחר הזנת של 360 מעלות, על מנת לקבל זווית חיובית בלבד.

עמודה רביעית: Phase calc – מתארת את החישוב התיאורטי על פי תוצאות מהמעגל החשמלי של הפרש פאזה, שנעשה בעזרת הנוסחה.

$$W_0 = 75\text{MHz}$$

$$\theta = \frac{L}{Vp} \cdot w = \frac{L}{0.66Vc} \cdot w = K \cdot L$$

$$K = 1.35$$

עמודה חמישית: Phase NA - מתארת את תוצאת המדידה של מכשיר Network Analyzer עבור האורכים בעמודה הראשונה. המהווים תוצאות Reference.

עמודה שישית: Phase NA edit – מתארת את הזווית מעמודה הקודמת, אבל בצורה חיובית בלבד. כדי להשיג זאת, התוצאות השליליות הוכפלו ב (-1) והחיוביות הוחסרו מ 360 מעלות.

עמודה שביעית: Delay NA – מתארת את זמני מעבר של האות החשמלי דרך הכבלים הנתונים. מדידה זו מתבצעת בעזרת NA.

עמודה שמינית: Offset – מתארת את ההיסט במעלות, בין מדידת מופע של NA (עמודה שישית) לבין מדידת הכרטיס (עמודה שנייה). מניתוח עמודה זו, עולה כי ההיסט הממוצע לאחר 100 מדידות, עומד על 75 מעלות. לכן כדי לקבל את התוצאה האמיתית של מדידת הפרש פאזה בעזרת הכרטיס, יש צורך להפחית את היסט זה מתוצאות מדידה של הכרטיס (עמודה שנייה).

עמודה תשיעית: Phase calc – ניתן לראות שהתוצאות המתקבלות, קרובות לתוצאות של NA, השגיאה הקטנה שעדיין קיימת, מתוארת בעמודה עשירית.

עמודה עשירית: Delta - מקור השגיאה הוא אי דיוק המאפיינים של הרכיבים החשמליים במעגל.

עמודה אחת עשרה: Measured Length – עמודה המתארת את אורכי הכבלים מהמעגל החשמלי ואחר החישוב המתמטי.